



Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Naval y Oceánica

Estudio técnico-económico para una ruta regular entre el puerto de Cartagena y puertos de Argelia

Trabajo Fin de Grado

Grado en Arquitectura Naval e Ingeniería de
Sistemas Marinos

Autora: Noemí Gallego Micol

Director: D. Jerónimo Antonio Esteve Pérez



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Cartagena, 2024

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a D. Jerónimo Antonio Esteve Pérez, director del TFG, por la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, toda su ayuda, paciencia y dedicación.

A mis padres por haber confiado y apostado en mi desde el principio, sin su ayuda y comprensión nunca estaría donde estoy actualmente.

A mi hermana Irene y Luis, por su apoyo incondicional.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. CONCEPTOS GENERALES	5
2.1. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	5
2.2. PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES.....	7
2.3. LÍNEA REGULAR	7
2.4. CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS DE ARGELIA.....	8
3. ENTORNO DE OPERATIVIDAD.....	11
3.1. ANÁLISIS DEL MACROENTORNO	11
3.1.1. <i>Situación político-legal</i>	11
3.1.2. <i>Situación socioeconómica</i>	13
3.2. ANÁLISIS DEL MICROENTORNO.....	15
3.2.1. <i>Competencia directa actual</i>	16
3.2.2. <i>Proveedores</i>	23
4. ESTUDIO DE LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS	29
5. DEFINICIÓN DE LA CONDICIÓN DE SERVICIO DEL BUQUE.....	33
5.1. RANGOS DE VELOCIDAD	33
5.2. PROPULSIÓN Y GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	33
5.3. ALTERNATIVAS DE COMBUSTIBLES	35
6. CÁLCULO DEL SISTEMA PROPULSIVO	37
6.1. INTRODUCCIÓN.....	37
6.1.1. <i>Estimación de la velocidad de servicio</i>	37
6.1.2. <i>Estimación de las dimensiones finales del buque</i>	38
6.2. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA	39
6.2.1. <i>Método de Holtrop</i>	39
6.2.2. <i>Método de Fung</i>	42
6.2.3. <i>Método de Van Oortmerssen</i>	42
6.2.4. <i>Método Series 60</i>	42
6.2.5. <i>Método de Holtrop manual</i>	42
6.2.6. <i>Elección del método de estimación de la resistencia</i>	47
6.2.7. <i>Estimación de los rendimientos propulsivos</i>	48
6.2.8. <i>Cálculo de la potencia a entregar por el motor</i>	53
6.3. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA A INSTALAR EN LA CONFIGURACIÓN DE LÍNEA DE EJES.....	54
6.3.1. <i>Cálculo del timón</i>	54
6.3.2. <i>Selección de la hélice óptima</i>	60
6.3.3. <i>Análisis datos obtenidos propulsión por línea de ejes</i>	66
6.4. ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA CON PODS.....	67
6.4.1. <i>Cálculo planta de generación eléctrica de energía con dual fuel</i>	68
6.4.2. <i>Cálculo planta de generación eléctrica de energía con diésel</i>	70
6.4.3. <i>Análisis datos obtenidos propulsión por pods</i>	71
6.5. CÁLCULO DIMENSIONES DE CÁMARA DE MÁQUINAS.....	72
6.6. SELECCIÓN DE LA PROPULSIÓN.....	73
7. ESTUDIO ECONÓMICO	75
7.1. COSTES ASOCIADOS A LA EXPLOTACIÓN DEL BUQUE.....	75
7.1.1. <i>Costes de capital</i>	75

7.1.2. <i>Costes fijos</i>	76
7.1.3. <i>Costes variables</i>	76
7.2. INGRESOS PERIÓDICOS.....	83
7.3. ESTUDIO ECONÓMICO COMPLETO	86
8. CONCLUSIONES	94
9. REFERENCIAS	97

1. INTRODUCCIÓN

Nos encontramos en una época en la que predominan conceptos como la globalización y el cambio climático, cada vez existe una mayor concienciación para enfrentarnos a un futuro “sin barreras” y con una menor contaminación. Poco a poco hay que ir adaptándonos y cambiar todo aquello que está claro que se puede hacer mejor, tanto desde el punto de vista jurídico como técnico, complementándose ambos.

En temas como la desigualdad, se conoce que África es el continente más atrasado económica y culturalmente, su economía depende del comercio, la industria y los recursos naturales. Según el Banco Mundial, en 2020, entre el 39% y 65% de la población de África vivía en la pobreza extrema. (BAJONERO VÁSQUEZ, 2023)

Centrando la vista en el transporte marítimo, el principal tipo de hidrocarburos usado como combustible en los buques es el fueloil pesado, derivado del residuo de la destilación del petróleo crudo, este contiene gran contenido en azufre que, tras la combustión en el motor, es liberado a la atmósfera junto con el resto de las emisiones del buque. Los óxidos de azufre (SO_x) son perjudiciales para la salud, también pueden producir lluvia ácida, que puede a su vez provocar daños en los cultivos, bosques y especies acuáticas, causando además la acidificación de los océanos.

Ya en 2005 entraron en vigor las reglas de la OMI para reducir las emisiones de NO_x y SO_x . El Anexo VI de MARPOL establece límites a estas emisiones de los gases de escape de los buques, y prohíbe las emisiones liberadas de los buques de 400 toneladas brutas o más que realizan viajes a puertos o terminales en alta mar bajo la jurisdicción de los estados que han ratificado el Anexo VI. Desde entonces, los límites de los óxidos de azufre han sido progresivamente endurecidos a lo largo de los años, hasta que, a partir del 1 de enero de 2020, el límite de contenido de azufre en el combustible usado a bordo de los buques que operan fuera de las zonas de control de emisiones designadas es de 0,50% masa/masa.

De forma similar ocurre para el NO_x , los requisitos de control del Anexo VI (Tabla 1.1) se aplican a los motores diésel marinos instalados de más de 130 kW de potencia de salida. Los TIER representan los diferentes niveles de control en función de la fecha de construcción del buque, el nivel III se aplica solo a los buques especificados mientras operan en las áreas de control de emisiones (ECA) establecidas para limitar las emisiones de NO_x , fuera de esas áreas se aplican los controles de nivel II.

Tabla 1.1. Límites emisiones NO_x

Tier	Fecha	Límite NO_x , g/kWh		
		$n < 130$	$130 < n < 2000$	$n > 2000$
Tier I	2000	17,0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9,8
Tier II	2011	14,4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7,7
Tier III	2016	3,4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1,96

En áreas de control de emisiones NO_x (Tier II se aplica fuera de las zonas ECA).

Fuente: Anexo VI Marpol (2021)

Debido a todo lo expuesto anteriormente, el panorama socioeconómico, y considerando de peso la cercanía entre las costas murcianas y las argelinas, incluso teniendo en cuenta que actualmente no existe una ruta regular en el puerto de Cartagena, se considera interesante la opción de analizar la implantación de una línea regular entre Cartagena y algunos puertos

argelinos, como pueden ser el de Orán, Mostaganem, Argel o Annaba, los más grandes y cercanos del norte de África con Europa. Al hablar de línea regular, se estipula que el buque debería ser un ferry que cumpla con la nueva normativa de la OMI, ofreciendo una nueva oferta en el transporte marítimo, lo cual permite mayor turismo y comercio.

Actualmente, la mayoría de los buques que están operando con rutas similares desde otras ciudades españolas con el país argelino son propulsados a diésel, este al reducir su contenido en azufre para cumplir con los reglamentos medioambientales, tiene un coste mayor al utilizado anteriormente, sería un momento crítico para hacerse un hueco en el mercado si se considera una propulsión dual fuel con gas natural, por lo que se debería estudiar desde el punto de vista económico y técnico si es viable una remotorización de diésel a dual fuel.

Según el artículo publicado por la sociedad de clasificación DNV GL, afirma que *“La demanda mundial de gas natural crecerá hasta 2035, y a partir de entonces disminuirá suavemente hacia 2050... En 2026, el gas natural superará al petróleo para convertirse en la mayor fuente de energía”*. (Redacción DNV, 2018).

Tras lo expuesto hasta ahora, el proyecto se basa principalmente en los siguientes puntos:

- Análisis de las ciudades de origen y destino para conocer la viabilidad de la implantación.
- Búsqueda de un ferry y diseño en el software Maxurf.
- Búsqueda de una base de datos de buques de referencia similares al buque proyecto.
- Análisis de oferta actual de viajes similares por ferry.
- Selección de puertos de escala.
- Cálculo de la potencia propulsora necesaria.
- Comparativa entre selección de propulsión por azipods o línea de ejes.
- Selección de motores diésel y dual fuel.
- Cálculo de distancia entre puertos y viajes redondos a realizar en un año.
- Cálculo de tarifas portuarias en Cartagena y puertos argelinos.
- Cálculo económico con costes y beneficios para conocer la rentabilidad de una remotorización a dual fuel.

2. CONCEPTOS GENERALES

En este capítulo se va a tratar varias de las opciones de combustible que existen actualmente, tanto las que se plantean como estudio, pero aún no se consideran viables, como las que si están en uso. También se va a plantear una comparativa de precios de los combustibles que se encuentran actualmente en el mercado, junto con la definición del buque propuesto a proyecto y un estudio preliminar de las características de Argelia.

2.1. Combustibles alternativos

En la actualidad, cada vez está más a la orden del día las propuestas y/o cambios en los automóviles de motores de combustible fósil a eléctrico o gas natural, y en general, todo el mundo es conocedor de las ventajas que se obtienen a nivel medioambiental con estos cambios. Pero ¿qué sucede cuando este cambio se extrapola al buque?, pues según el artículo de GNL Global, (GNL GLOBAL, 2021a), desde el año 2021 se ha impulsado la demanda de buques propulsados a GNL (Gas Natural Licuado) procurando en las flotas la incorporación de barcos con este combustible.

Se confirma desde la agencia naviera británica Gibson, (GNL GLOBAL, 2021), que recientemente publicó datos en los que se reflejan que alrededor de un cuarto de los pedidos de buques que ha recibido corresponde a propulsión con GNL como combustible. Otro ejemplo, es el portacontenedores Jacques Saade, primer barco de este tipo en cargar 16400 metros cúbicos de combustible GNL en maniobras *ship-to-ship* desde el carguero Gas Agility.

Actualmente se habla de GNL y el GNC (Gas natural comprimido), son el mismo producto, pero en distinta fase térmica. El GNL es un producto que va a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ y su ventaja es que ocupa un menor volumen y, por tanto, la autonomía que ofrece es mucho mayor, por otra parte, el GNC su ventaja es que la instalación es más sencilla. Tratándose de buques, que necesitan autonomías muy grandes en comparación con los vehículos terrestres, está claro que la opción a considerar sea GNL.

Hoy en día, en España y Portugal ya existen ejemplos, como la asociación Gasnam, de transporte sostenible que integra la cadena de valor del gas y el hidrógeno para alcanzar los retos medioambientales, económicos y operacionales del transporte por tierra, mar y aire. Cuentan con 142 socios de múltiples sectores: energía, automoción, ingeniería, transporte de mercancías y viajeros, puertos, navieras, astilleros, universidades y administraciones.

En un artículo de dicha asociación, José María Chamizo, director de desarrollo de negocio de Gas de IVECO, afirma que *“en el mismo volumen cabe muchísimo más GNL que GNC, y esto va a permitir tener mucha más autonomía, por lo que el GNL es ideal para el transporte de larga distancia”*. (GNL GLOBAL, 2021a)

Actualmente, marcas como Caterpillar-MaK, MAN, MTU, Rolls-Royce, Siemens, Wärstilä o Yanmar, ya apuestan por desarrollar motores a gas natural para cumplir con la creciente demanda del sector y favorecer un transporte marítimo sostenible. Ya hay muchos proyectos marítimos internacionales como CLEANPORT, en el cual, según el artículo de la revista del sector marítimo, el objetivo de este proyecto es demostrar la viabilidad de un sistema de generación de energía alternativo y limpio en el ámbito naval. Dicho proyecto, está cofinanciado por la Unión Europea, y como este, muchos otros similares con un mismo

objetivo, establecer combustibles alternativos más limpios. (*Clean Port - Proyectos Marítimos - Gasnam*, 2020)

Otro de los candidatos a combustible sostenible sería el metanol verde, un posible sustituto del diésel en buques, ya que es un combustible renovable.

Según se explica en el periódico de la energía, el metanol verde se divide en dos tipos según las materias primas utilizadas, bioetanol y metanol electrónico, el primero consiste en sustituir las materias primas existentes de carbón o gas natural por biomasa o biogás, mientras que el segundo se sintetiza haciendo reaccionar hidrógeno verde con dióxido de carbono procedente de la captura directa de carbono del aire o de fuentes biogénicas. En ambos casos, la combustión produce pocas o ninguna emisión durante su ciclo de vida, lo que lo convierte en un combustible óptimo para un escenario cero emisiones. (José A. Roca, 2023)

El metanol tiene propiedades químicas y de combustión parecidas a las de los combustibles pesados, por lo que su almacenamiento y manipulación son mucho más sencillos que los del gas natural licuado y el amoníaco. Además, los modernos motores marinos duales pueden quemar y funcionar tanto con metanol como con fueloil pesados. Aunque parecen ventajas, hay varios factores que juegan en contra, como la distribución del combustible en los principales puertos del mundo, gran parte de los mayores productores mundiales de metanol verde se encuentran a mucha distancia, por lo que, o se realiza una renovación gigantesca de la infraestructura del transporte marítimo o sería muy complicada la utilización de esta solución.

En los últimos años se está hablando de otros tipos de combustibles más limpios para el uso naval, como el amoníaco o el hidrógeno. Tanto se ha hablado que HAV Hydrogen ha anunciado una nueva tecnología que permite adaptar barcos antiguos al uso del hidrógeno, esta compañía noruega quiere lanzar al mercado un sistema de energía de hidrógeno en contenedores que puede ser instalado en las cubiertas. (Fernández, 2022). Según figura en su web, desde que anunció su intención de lanzar un sistema de hidrógeno en contenedores basado en la cubierta, se ha visto inundado de solicitudes de los armadores, (*HAV Hydrogen*, 2022).

"Hay un interés significativo por parte de los armadores en múltiples sectores de la industria. Nos han contactado empresas que operan en el ámbito de la energía eólica marina, el petróleo y el gas, el transporte Ro-Ro, de carga, el transporte terrestre y la pesca. Reconocen que nuestra solución en contenedores puede ser la ruta rápida hacia cero emisiones para sus tipos de buques. Todo lo que un armador necesita hacer es despejar suficiente espacio en la cubierta y conectarlo al sistema de energía del buque". (Vilela, 2023)

Se espera que el amplio apoyo regulatorio europeo e internacional, y el rápido desarrollo del suministro de hidrógeno en los puertos pertinentes, impulsen la adopción del hidrógeno como combustible para los buques.

Otro combustible del que se habla últimamente para hacerle frente a las restricciones de las zonas SECA es el amoníaco. Según el artículo publicado en la web *Puente de mando*, (*Los retos del amoníaco como combustible marino de futuro - Anave*, 2022), confirma que "El amoníaco es uno de los combustibles del futuro más prometedores para el transporte marítimo internacional". Aunque sucede algo similar como con los combustibles comentados anteriormente, su introducción en el mercado no es fácil, ya que se deben superar desafíos relacionados con el suministro, la seguridad o la tecnología disponible.

En este mismo artículo confirma que “en la actualidad, alrededor del 80% de la producción mundial de amoníaco se utiliza como fertilizante. Si a la demanda agrícola se le suma en el futuro la del transporte marítimo, la producción tendría que aumentar significativamente. Además, si el objetivo es la descarbonización del sector, el amoníaco utilizado como combustible deberá ser ‘verde’”. (Los retos del amoníaco como combustible marino de futuro - Anave, 2022)

2.2. Precios de los combustibles

Actualmente, según la asociación de navieros españoles, (*Precios de los combustibles marinos* - Anave, no date), tal y como se representa en la Figura 2.1, la evolución de los precios de los combustibles marinos se encuentra con bastante diferencia entre el IFO 380 con un contenido del 3,5% en azufre y el VLSFO con un 0,5% en azufre (el que cumpliría actualmente la normativa en el mar Mediterráneo), entre ellos hay una diferencia de precio de unos 161 \$/t, aunque estos valores son variables.

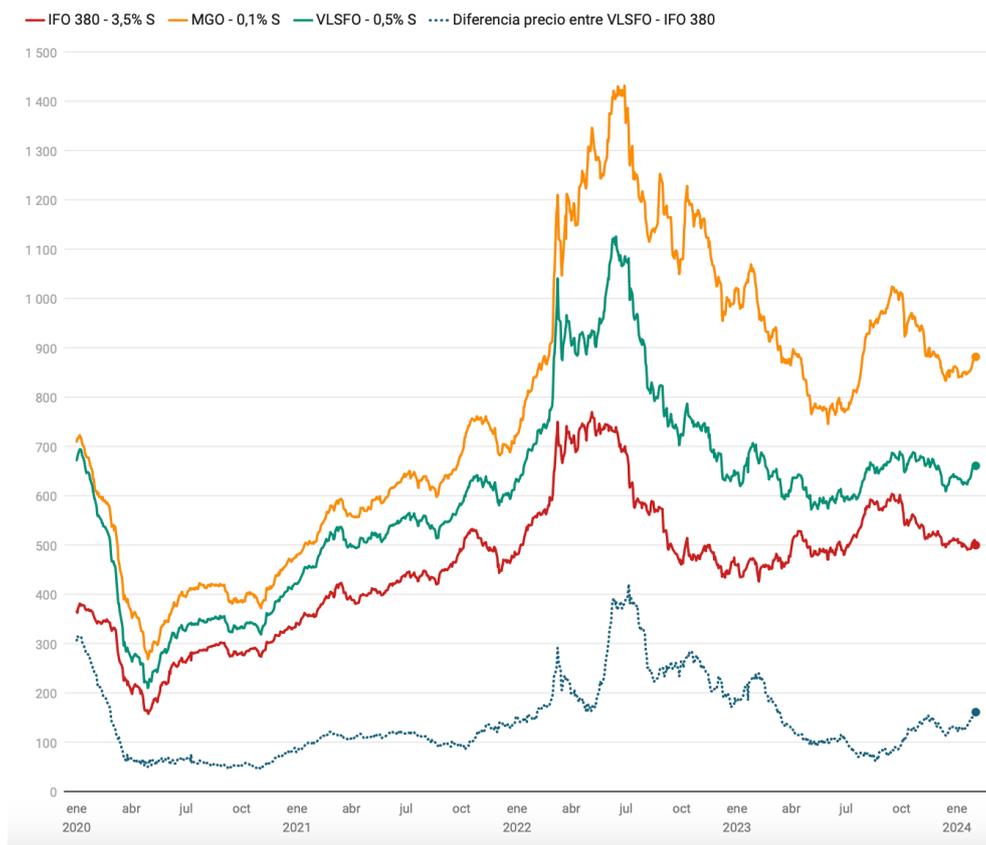


Figura 2.1. Evolución de los precios de combustibles marinos
Fuente: ANAVE (2024)

2.3. Línea regular

Una línea regular está definida para el transporte habitual en un itinerario determinado, sus salidas están previamente anunciadas y no tendrán un cliente único por trayecto, como podría

ser en el tráfico *tramp*, en este caso cualquiera podría utilizarlo simultáneamente. Los buques típicos utilizados para este tipo de tráfico son portacontenedores celulares, Ro-Ro, polivalentes convencionales y cargueros frigoríficos.

Los buques tipo ferries o Ro-Ro, están dedicados al transporte combinado de pasajeros y vehículos, pueden operar tanto en mares como en océanos, normalmente navegan entre puertos con horarios preestablecidos y los pasajeros pueden viajar con sus vehículos para disponer de ellos en el puerto de destino, por tanto, dispondrán de una rampa móvil por la que se hará el embarque de estos a las cubiertas para vehículos, contando con el problema de estabilidad que se debe a las superficies libres.

Aunque actualmente nos encontramos en una época en la que viajar a lugares cercanos sale excesivamente barato gracias a las nuevas compañías aéreas low-cost, existe un servicio que, a día de hoy, únicamente lo puede ofrecer un buque, el transporte de personas junto con sus pertenencias de grandes dimensiones, como vehículos. Son los llamados también Ro-Pax, Ferries o Ro-Ro.

Estos buques normalmente disponen de dos o tres cubiertas a las que se accede mediante rampas fijas o móviles, por medio de amplias puertas de popa o en algún caso de proa, que sirven para la carga rodada y les permite la entrada sin necesidad de equipos de puerto. En la Figura 2.2 se puede apreciar la distribución general del ferry Regina Báltica, uno de los buques que se encuentran actualmente en servicio de la naviera Balearia. (*Ficha de buque · Regina Baltica · Flota · Balearia*, 2020).

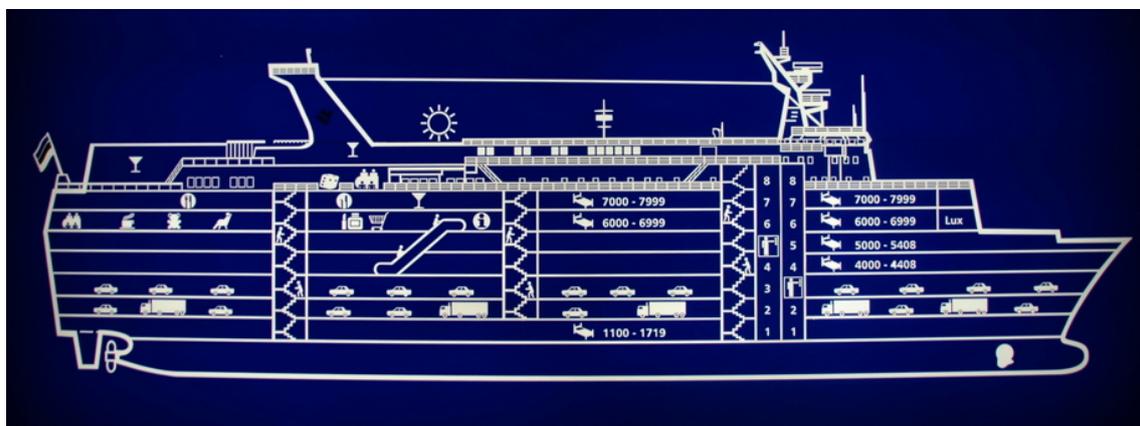


Figura 2.2. Distribución general Ferry Regina Báltica
Fuente: FERRYBALEAR (2021)

2.4. Características socioeconómicas de Argelia

Argelia es un país africano situado al norte del continente, se encuentra separado de Europa únicamente por el mar Mediterráneo. Su cultura está influenciada por el islam, aunque las ciudades norteñas están más europeizadas que otras más al sur, siendo estas zonas más rurales y tradicionales. El idioma extranjero generalmente hablado es el francés, ya que Francia fue la última potencia colonial, siendo el idioma oficial del país el árabe. Es uno de los principales productores de petróleo y gas del continente, por tanto, su economía está basada en las exportaciones de este.

Argelia es uno de los principales mercados para las empresas españolas fuera de la Unión Europea. Este país presenta innumerables oportunidades, a pesar de la coyuntura de bajos precios del petróleo, cuenta con buenas expectativas económicas y, sobre todo, es un pueblo acogedor y abierto al exterior, que presta especial atención a España, uno de sus grandes socios estratégicos, (MDO, 2018).

Argelia es el principal socio energético de España, país al que vende cada año el 54% del gas que consume a través del proyecto "Medgaz", gestionado por las empresas españolas Cepsa y Gas Natural Fenosa, y la compañía estatal de hidrocarburos argelina Sonatrach. (EUROEFE, 2019). Argelia es, además, el segundo cliente comercial de España en el norte de África, solo por detrás de Marruecos, con una balanza favorable al país árabe de entorno a unos 1900 millones de euros anuales. Los productos más exportados por España son aparatos mecánicos, productos de fundición, hierro y acero, papel y cartón, vehículos y materiales plásticos, (*Argelia, socio comercial estratégico en el Magreb*|CEOE, 2018).

Además del gas natural, que tiene una importancia estratégica capital, España importa químicos inorgánicos y abonos de Argelia, al tiempo que varias de sus empresas han logrado entrar en el sector de la construcción, (EUROEFE, 2019).

En el plano de la seguridad en el Mediterráneo, España y Argelia mantienen una estrecha cooperación en materia de lucha contra el terrorismo, en particular contra el yihadismo, y en asuntos de inmigración.

Todo esto pone de relieve la importancia y el interés que tendría ampliar las comunicaciones directas con este país. Si tenemos en cuenta el sector turístico, España es uno de los principales destinos, según los datos actualizados a enero de 2020 y atendiendo a los últimos datos disponibles por países de la Organización Mundial del Turismo, el país que más turistas internacionales recibe del mundo es Francia (89,4 millones), seguido de España (82,7 millones) y Estados Unidos (79,6 millones). (EUROPA PRESS, 2019). Con estos datos, podemos intuir que gran parte de los ingresos anuales en España provienen del sector turístico, por lo que, ¿no sería algo gratamente positivo el poder aumentar dicha cifra abriéndonos camino con el turista y/o residente argelino? Esto también ofrecería un servicio al turista español para poder visitar ciudades que estando tan cerca, generalmente, no se consideran un destino turístico.

Según el periódico La Vanguardia, Argelia es “*Una joya turística (casi desconocida) a poca distancia de Europa*”, afirma que “*Argelia lo ofrece casi todo, pero donde hay dificultades para encontrar un turista extranjero*”. (Bloomberg, 2020). Seguramente nos encontramos ante un destino turístico aún por descubrir.

3. ENTORNO DE OPERATIVIDAD

Como se puede intuir, ningún negocio opera sin que le afecten agentes externos, por lo que una buena estrategia siempre debe tener en cuenta tanto el macroentorno como el microentorno. Una vez estudiados los aspectos generales del macroentorno para tener más información sobre la realidad en la que se operaría, se debe realizar el estudio de aquellos factores que intervienen en el área inmediata de operación que pueden afectar al desempeño y a la toma de decisiones.

3.1. Análisis del macroentorno

Este análisis del macroentorno va a estar basado en un análisis PESTEL, este tiene como objetivo la obtención de información detallada que permita conocer el macroentorno en el que la empresa va a operar, considerando factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, jurídico-legales y medioambientales. Tras este análisis, se puede realizar una evaluación de las principales influencias que afectan al proyecto. Por lo tanto, cuando se habla de un análisis PESTEL, se trata de una contracción de factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales.

3.1.1. Situación político-legal

Con la creación de una nueva empresa o ampliación a un nuevo mercado, hay que estudiar cuáles son los factores políticos y legales del país que aplica, ya que la economía está ligada a las leyes de cada país, las cuales influirán de manera positiva o negativa de cara a la implantación de un comercio.

Para conocer la situación general de Argelia para crear negocios, este proyecto se basará en la publicación de Doing Business, del Grupo Banco Mundial, en la que realizando una serie de estudios anuales se evalúan las regulaciones que favorecen o restringen la actividad empresarial. (*Doing Business 2020*, 2019)

Doing Business analiza las regulaciones que afectan a la facilidad para hacer negocios (Figura 3.1 y Figura 3.2), como la apertura de una empresa, manejo de permisos de construcción, obtención de electricidad, registro de propiedades, obtención de crédito, protección de los inversionistas minoritarios, pago de impuestos, comercio transfronterizo, cumplimiento de contratos y resolución de insolvencia.

Rankings on Doing Business topics - Algeria



Figura 3.1. Ranking hacer negocios en Argelia
Fuente: Doing Business (2022)

Rankings on Doing Business topics - Spain

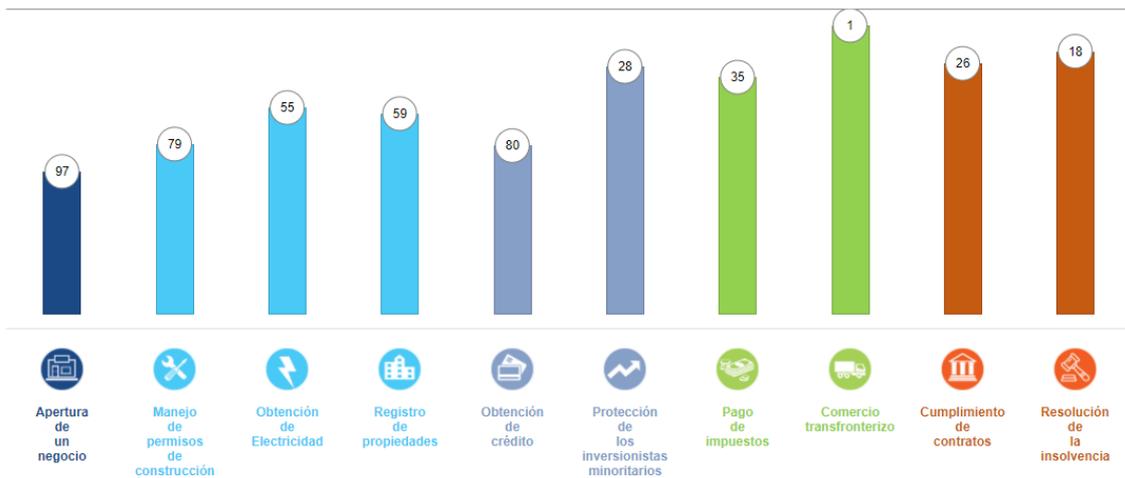


Figura 3.2. Ranking hacer negocios en España
Fuente: Doing Business (2022)

Los valores representados en las Figuras 3.1 y 3.2, reflejan el puesto en el ranking general, siendo su altura de las barras la correspondiente al porcentaje de facilidad para cada factor, por lo que, se puede observar a simple vista que España es un país actualmente con muchas más facilidades político-legales para crear empresas que Argelia. Esto nos puede llevar a presuponer que sería más fácil la creación de la ruta con una empresa española que argelina, aunque dicha afirmación sería solo desde el punto de vista de la facilidad de llevarlo a cabo, por ahora no se puede afirmar desde el factor de rentabilidad.

También se puede observar que mientras en España el comercio transfronterizo es positivo, en Argelia está muy por debajo. Esto puede suponer impedimentos en las relaciones comerciales.

3.1.2. Situación socioeconómica

Cuando se habla de la situación económica de un país, el PIB per cápita es un buen indicador del nivel de vida, en el caso de Argelia, en 2018 fue de 148.006 M de euros, (*PIB de Argelia 2018 | Datosmacro, 2018*), sus habitantes tienen un muy bajo nivel de vida en relación con los 196 países del ranking de PIB per cápita, situándose en el puesto 117.

En cuanto al índice de desarrollo humano (IDH), este es un importante indicador que se elabora cada año por las Naciones Unidas, (Argelia - Índice de Desarrollo Humano, 2020), en él se analiza la salud, educación e ingresos de los habitantes de un país. En 2019 el IDH en Argelia fue 0,748 puntos, lo que supone una mejora respecto a 2018, en el que se situó en 0,746. Según el instituto vasco de estadística, un índice de entre 0,700 y 0,799, sitúa al país con un desarrollo humano alto. (*Eustat-Instituto Vasco de Estadística, 2016*)

Para saber el crecimiento anual de dicho país, y poder conocer si se encuentra en crecimiento, se han obtenido los datos de IDH desde 1990 a 2019 gracias a la publicación de Datosmacro, (*PIB de Argelia 2018 | Datosmacro, 2018*), como se muestra en la Figura 3.3.

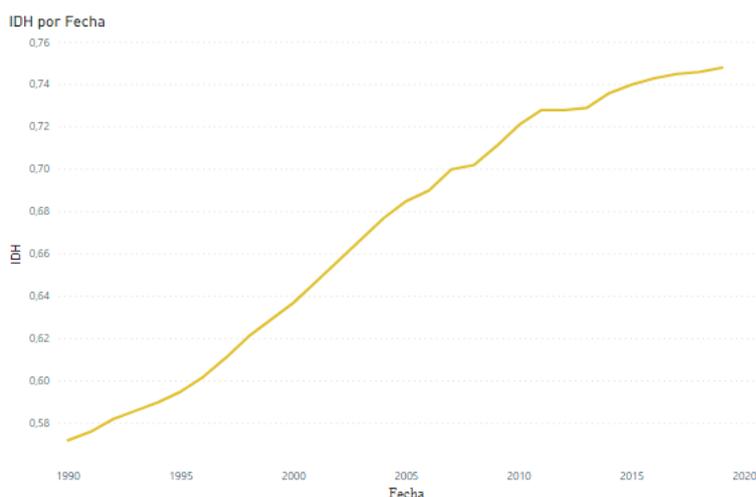


Figura 3.3. Crecimiento IDH Argelia
Fuente: Datos Macro (2021)

La representación de la Figura 3.3 muestra una tendencia claramente en aumento, lo que puede considerarse que en unos años el nivel de vida en este país pueda llegar a ser similar al de España, siendo a priori una buena inversión a futuro la conexión de dichos países.

Otro de los factores importantes para tener en cuenta es la diferencia de salario mínimo entre países, siendo la intención la creación de una línea regular tipo ferry, y estando orientado al transporte de pasajeros, este factor sería bastante importante de cara a la estimación de precios del servicio, o demanda.

Si comparamos los datos actuales de salario mínimo de cada país, se tiene que el de España es casi 10 veces mayor que el de Argelia, aunque periódicos digitales como Monitordeoriente, afirman que *se ha aumentado el salario mínimo en Argelia por primera vez en 8 años*, (*Argelia aumenta el salario mínimo por primera vez en 8 años - Monitor De Oriente, 2020*), sigue

tratándose de 170 dólares mensuales, lo que sería aproximadamente 140 euros, cuando en España, actualmente el salario mínimo está en 1050 euros. Esto lleva a pensar que puede ser una realidad considerar que para la población española y/o europea, el viaje turístico más allá de las fronteras del propio país sea mucho más probable y frecuente que para la población argelina.

En la Figura 3.4 se puede observar cómo la diferencia de salario es bastante representativa y será un factor importante a tener en cuenta a la hora de establecer posibles tarifas y estudiar la viabilidad de la inversión, ya que podría estar bastante limitado a una parte de la población.

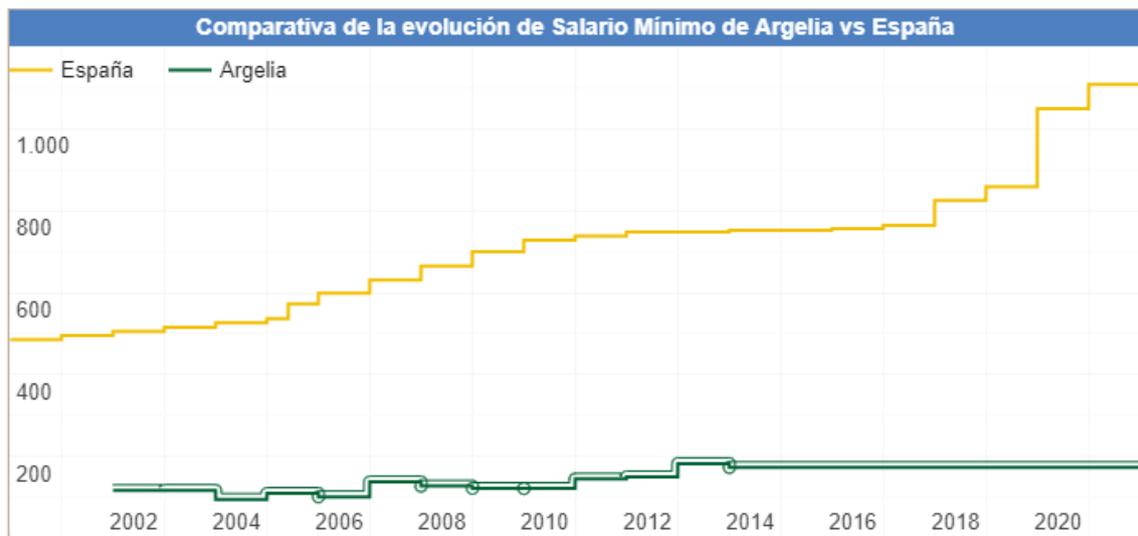


Figura 3.4. Gráfica comparativa evolución del salario mínimo
Fuente: Datos Macro (2021)

Respecto a los factores sociales a tener en cuenta, el estudio de las edades medias de cada país sería un indicativo de una predisposición mayor o menor a los desplazamientos, ya sea por turismo, por trabajo o envíos de mercancías por transporte marítimo. Si nos encontramos ante países envejecidos, sería demasiado alentador esperar que los movimientos por transporte marítimo, y más entre distintos continentes, fueran a tener el mayor de los éxitos.

Según el periódico Atalayar, (Brahim, 2019), a 2018 la edad media de Argelia sería de 28,3 años, lo que se traduce a una población joven y junto con el dato del índice de desarrollo humano alto, cabe presuponer que es un dato que pueda ayudar tanto al crecimiento del país debido a las mejores comunicaciones con Europa como al turismo español. En España, por el contrario, nos encontramos con una población algo más envejecida, según el periódico Expansión, se encuentra con una edad media de 43,6 años, (Expansión, 2023), aunque de cara al turismo esto no es un factor negativo, ya que en España es habitual viajar tras la jubilación.

Rachid Cheloufi, director general de la oficina nacional de turismo de Argelia, realizó una entrevista al periódico Atalayar, en la cual afirma, “*durante los años 60 y 70, el poder público dio importancia al turismo; se consideró que fue su época dorada. Durante ese periodo, construimos los mejores hoteles que constituyen, hasta la actualidad, la joya de la corona del turismo argelino. Recibíamos muchos turistas de todo el mundo, sobre todo de países vecinos del Mediterráneo, como Francia -el país colonizador-, pero también de Italia, España, Holanda y Alemania.*” (Fernández Arribas y Rubio, 2020)

Incluso se afirma que se ha puesto en marcha una estrategia, bajo el nombre de “SDAT 2030”. Sería una hoja de ruta que el Estado Argelino ha reflexionado para abrir de nuevo el paso al turismo, por ello se creó la Oficina Nacional de Turismo, que, generalmente se ocupa de los aspectos de la promoción, la comunicación y el marketing.

Ante una situación como la citada anteriormente, en la que nos basamos exclusivamente desde la perspectiva del turismo, se debe tener en cuenta la Operación Marhaba o Paso del Estrecho, en la que este año 2023 se cumplieron récords, con más de 700000 pasajeros y 176000 vehículos (Arredondas, 2023)

La operación Marhaba es una planificación de Marruecos y España que sirve para coordinar el viaje de un gran número de personas durante los periodos vacacionales, que generalmente viajan desde Europa a sus lugares de origen en el norte de África. Esto sucede durante las fechas vacacionales, como verano o Navidad.

En la actualidad, este movimiento de viajeros se realiza generalmente desde las costas andaluzas, como el puerto de Algeciras y Tarifa. Podría ser interesante que se ampliara al puerto de Cartagena, promoviendo así que la concentración de personas en estos puertos sea menor, esté más dividida, y sobre todo teniendo en cuenta que gran parte de los pasajeros que realizan este viaje al norte de África son residentes en Francia, por lo que, salvo excepciones, pasan por la capital murciana para dirigirse a su destino.

3.2. Análisis del microentorno

Del microentorno formarán parte los competidores directos, clientes, las rutas y los proveedores.

Con la ayuda del blog de desafíos para la gestión empresarial del EAE Business School, se va a dar un punto de vista más empresarial para entender mejor los factores importantes a tener en cuenta, aparte de los técnicos, para hacer un estudio realista de lo que sería la inversión que se está estudiando. Según se afirma en este blog, *los factores que componen el microentorno de una empresa son importantes para cualquier negocio y entender bien cuáles son y cómo le afectan es básico para afinar la planificación, mejorar la eficiencia operativa y lograr el éxito financiero.* (Retos Directivos, 2021)

Se debe tener en cuenta los siguientes factores, que afectan a casi todas las empresas:

- **Competencia:** se deben conocer aquellas empresas que ofertan servicios similares. Es importante tener en cuenta sus precios y estrategias para obtener mejores estimaciones. En este caso son las navieras que ofrecen servicios regulares.
- **Proveedores:** en este caso, los proveedores podrían considerarse los puertos (tarifas portuarias), la compra de GNL para la propulsión del buque, y el fletamento, compra o construcción serán determinantes a la hora de calcular los gastos e inversiones.
- **Distribuidores:** deberá tenerse en cuenta las comercializaciones del servicio, si será por terceros y qué margen podemos establecer para tener en cuenta este factor.

- **Clientes:** conocer cuáles serían los clientes, cuáles son sus situaciones económicas (conocido en el macroentorno) y las razones que establecemos supuestas para la demanda del servicio.

3.2.1. Competencia directa actual

Teniendo en cuenta que una oferta similar a la estudiada sería una conexión marítima como línea regular con buques ferries entre la costa mediterránea española o francesa y la argelina, se ha realizado un seguimiento de la oferta actual que cumple los requisitos establecidos.

Actualmente están operando las navieras, Algerie Ferries, de origen argelino, Transmediterránea, Balearia, ambas españolas, y Corsica línea, de origen francés.

En la Tabla 3.1 se representan las rutas similares, con su naviera y buque que se encuentra operando, siendo estos de propulsión diésel.

Tabla 3.1. Rutas actuales entre España y Argelia

Salida	Destino	Naviera	Buque
Alicante	Argel	Algerie Ferries	El Djazair II
Alicante	Orán	Algerie Ferries	Tassili II
Almería	Orán	Transmediterránea	Vronskiy
Valencia	Mostaganem	Balearia	Regina Báltica
Marsella	Argel	Algerie Ferries	Tariq Ibn Ziyad
Marsella	Orán	Algerie Ferries	Tassili II/El Djazair II
Barcelona	Argel	Algerie Ferries	Tassili II/Tariq Ibn Ziyad
Barcelona	Orán	Algerie Ferries	Tassili II/Tariq Ibn Ziyad
Marsella	Argel	CORSICA línea	Mediterranee

Hay que tener en cuenta que la propuesta de negocio no va en la línea de innovación, sino en la mejora de un servicio que ya existe, es un sector asentado en el que la única forma que hay de romper las barreras de entrada sería mejorar el servicio. Para ello, una de las formas principales de saber a qué nos enfrentamos y cómo poder destacar de la competencia directa es estudiar las rutas ofertadas que son similares.

3.2.1.1. Buques operando actualmente

En las Tablas 3.2 – 3.7, se realiza una recopilación de datos que serán útiles de cara a la elección del buque proyecto. Esta elección se tiene que basar en los datos que se obtienen de las dimensiones y características técnicas generales de los buques operativos en las rutas identificadas anteriormente. Se han recopilado valores como el arqueado bruto, dimensiones principales de cada buque, año de construcción, velocidad media, bandera, tipo de buque, capacidades de transporte y propulsión.

Tabla 3.2. Características del buque El Djazair II

Arqueo Bruto	20024 GT
Peso muerto (t)	3520
Eslora (m)	146,6
Manga (m)	24
Año de construcción	2005
Velocidad media	22,4 nudos
Bandera	Argelia
Tipo	Ferry
Potencia (CV)	33734
Motor	2 x 4T Wärtsila 12V46C
Capacidad pasajeros	1300
Capacidad vehículos	300

Tabla 3.3. Características del buque Tassili II

Arqueo Bruto	20024 GT
Peso muerto (t)	3520
Eslora (m)	146,6
Manga (m)	24
Año de construcción	2004
Velocidad media	23,5 nudos
Bandera	Argelia
Tipo	Ferry
Potencia (CV)	33972
Motor	2 x Wärtsila 8L20C2
Capacidad pasajeros	1320
Capacidad vehículos	300 / 43 camiones

Tabla 3.4. Características del buque Vronskiy

Arqueo Bruto	13505 GT
Peso muerto (t)	1887
Eslora (m)	131,6
Manga (m)	22
Año de construcción	1978
Velocidad media	15,1 nudos
Bandera	Chipre
Tipo	Ferry
Potencia (CV)	22000
Motor	4 x Stork Werkspoor
Capacidad pasajeros	1256
Capacidad vehículos	280

Tabla 3.5. Características del buque Regina Báltica

Arqueo Bruto	18345 GT
Peso muerto (t)	2830
Eslora (m)	145,18
Manga (m)	25,5
Año de construcción	1980
Velocidad media	15 nudos
Bandera	Chipre
Tipo	Ferry
Potencia (CV)	26123
Motor	2 x Wartsila-Pielstick
Capacidad pasajeros	1675
Capacidad vehículos	350

Tabla 3.6. Características del buque Tariq Ibn Ziyad

Arqueo Bruto	21659 GT
Peso muerto (t)	5125
Eslora (m)	153,26
Manga (m)	25,2
Año de construcción	1995
Velocidad media	21 nudos
Bandera	Argelia
Tipo	Ferry
Potencia (CV)	29502
Motor	2 x Wartsila Diesel
Capacidad pasajeros	1276

Capacidad vehículos	500
---------------------	-----

Tabla 3.7. Características del buque Mediterraneo

Arqueo Bruto	30985 GT
Peso muerto (t)	3452
Eslora (m)	165,54
Manga (m)	27,4
Año de construcción	1989
Velocidad media	19 knots
Bandera	Francia
Tipo	Ferry
Potencia (CV)	47965
Motor	4 x Pielstick 18PC2/6V400
Capacidad pasajeros	2780
Capacidad vehículos	800

Aparte de los buques detallados anteriormente, se va a incluir una base de datos con buques similares que están o han estado en servicio en los últimos años, con el objetivo de estimar mejor los datos que no se conocen en el buque proyecto, Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Base de datos buques tipo Ferry

Buques	Peso muerto (dwt)	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Año	Velocidad media (nudos)	Potencia (kW)	Capacidad pasajeros	Capacidad vehículos	GT	Motor	Rev. Hélice (rpm)	Diámetro hélice (mm)
Hammerodde	3437	124,9	23,40	5,60	2005	18	8640	400	380	-	2 x Wartsila 9M32	161,3	4000
Maersk Dunkerque	6160	186,6	28,40	6,90	2005	26	38400	537	200	-	4 x MAN B&W 8L48/60B	135	5400
Moby Aki	5500	175	27,60	7,20	2005	27,7	50400	2080	782	-	4 x (Wartsila-12V46C)	154	5400
Pu Tuo Dao	3996	137,3	23,40	5,80	2005	19,35	11600	1428	193	16234	2 x (Wartsila-8L38B)	171	4000
Smyril	3113	138	22,70	5,80	2005	21,55	13440	976	200	-	4 x MAN B&W 7L32/40	150	4300
Zhong Hua Fu Qiang	8933	186,02	28,60	6,55	2020	19,5	3420	2256	1548	-	3 x Wartsila 6L20	127,8	4800
Silver Eight	4028	142,59	23,40	5,90	2013	20,5	13930	600	68	9483	2 x Hitachi-MAN B&W 7L42MC6.1	176	4000
Silver Princess	4724	150	25,00	5,85	2012	20,5	14400	900	92	10536	2 x JFE Engineering Corporation 12PC2	-	4200
Severine	6576	152	22,00	5,40	2012	17	7000	-	116	16342	1 x Wärtsilä 16V32	168	4300

Buques	Peso muerto (dwt)	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Año	Velocidad media (nudos)	Potencia (kW)	Capacidad pasajeros	Capacidad vehículos	GT	Motor	Rev. Hélice (rpm)	Diámetro hélice (mm)
Settsu	36206	195	29,60	6,95	2020	23,5	17080	663	188	-	2 x Wärtsilä 14V31	-	-
Esperanza	10618	150	23,00	5,00	2020	13,5	3600	274	-	18604	2 x Wärtsilä 9L20 Dual-fuel. MGO, HFO	176	3400
Hypatia de Alejandría	18090	186,48	25,60	7,10	2019	24,65	20610	850	166	-	2 x Wärtsilä 9L46DF Dual fuel	137	4800
New Shidao Pearl	7592	169,9	26,20	6,00	2018	20,3	13920	1200	-	19988	2 x Wärtsilä 12V32E	124,1	4800
Stavangerfjord	36200	170	27,50	6,50	2013	21,5	25600	1200	600	-	4 x Rolls-Royce Marine LNG	-	4700
Sunflower Pearl	4406	165,5	27,00	6,00	2008	23,2	18000	-	-	-	2 x SEMT-Pielstick 12PC2-6B	145	-
Martín i Soler	4370	165,3	25,60	6,00	2008	21,4	18000	1164	-	-	2 x MaK 9M43C	177	4250
Armorique	4200	168	26,80	8,50	2008	23	24000	248	500	-	2 x MaK 2VM43C	153	4800
Cotentin	6200	168	26,80	6,50	2007	23	24000	160	120	-	2 x MaK 12VM43C	150	4800

Buques	Peso muerto (dwt)	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Año	Velocidad media (nudos)	Potencia (kW)	Capacidad pasajeros	Capacidad vehículos	GT	Motor	Rev. Hélice (rpm)	Diámetro hélice (mm)
Côte D'Albâtre	3600	142,45	22,00	6,00	2006	22	18900	600	-	18951	2 x Wärtsilä 9L46C	176	4200
Volcán de Timanfaya	2900	142,45	24,20	6,00	2005	21	16800	1000	404	17343	2 x Wärtsilä 8L46C	176	4200

3.2.2. Proveedores

En un proyecto de una ruta marítima, parece extraño hablar de proveedores como los puertos, pero si se mira desde una perspectiva económica, los puertos son los que proporcionan las instalaciones para realizar dichas rutas, y estos servicios no se ofrecen de manera altruista, aunque parezca que está al alcance de todos, este no deja de ser un servicio, público o privado, pero no gratuito. Dicho esto, los gastos por el uso de las infraestructuras portuarias y por los servicios que se ofrecen son una parte fundamental, tanto para la viabilidad económica como para la técnica.

En primer lugar, se va a realizar un trabajo de investigación sobre los diferentes puertos disponibles en Argelia, identificados en la Figura 3.5, y las dimensiones máximas que ofrece cada uno para el acceso y atraque. También, se considerarán las dimensiones del puerto de Cartagena, para así poder conocer las características básicas del buque que mejor se adapte a los puertos que van a componer la ruta, y, posteriormente, se realizará el estudio de viabilidad económica del proyecto.

Como se indicó anteriormente, se han identificado cuatro puertos en Argelia que potencialmente pueden formar parte de la ruta, debido a la cercanía con el puerto de Cartagena, del cual se parte. Hay que tener en cuenta que es una primera aproximación de la que se parte y es posible que cuando se analicen las distancias, autonomía del buque y viajes que se pueden realizar en un año, podría reducirse el número de puertos a considerar.

Las características de los puertos seleccionados para el estudio se describen en los siguientes apartados.

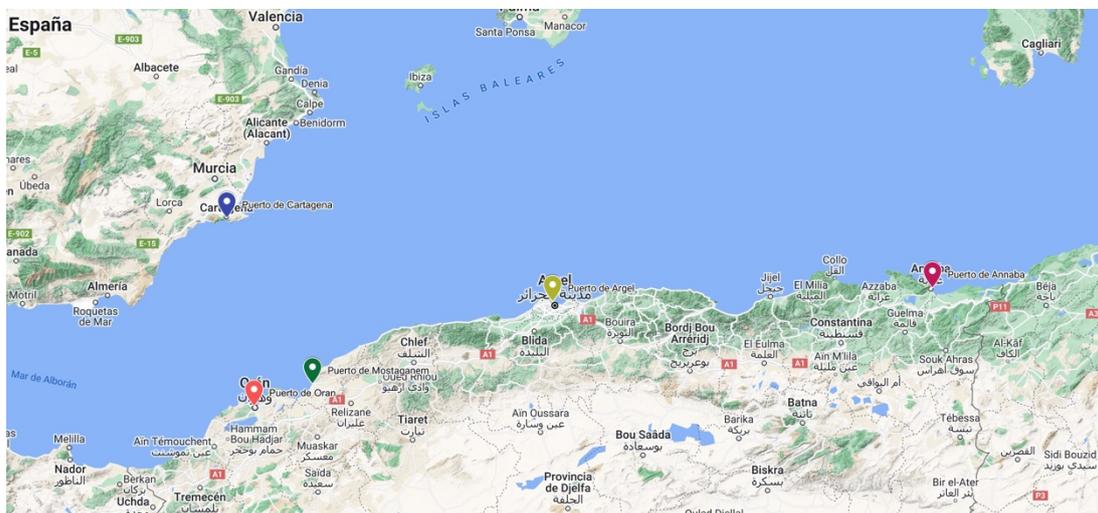


Figura 3.5. Mapa con los puertos destino marcados
Fuente: Google Maps (2023)

3.2.2.1. Puerto de Cartagena

El puerto de Cartagena es el sexto puerto comercial más activo de España. Está realizando importantes esfuerzos de expansión y mejora para proporcionar mejores servicios y enlaces a la red de carreteras del país. En los últimos años, el puerto ha construido una Terminal de

Contenedores, una de carga general, una de frutas y verduras y un edificio de Inspección Fronteriza. En 2006, comenzaron los planes para un nuevo puerto deportivo y nuevas terminales para contenedores.

Este puerto contiene casi 218 hectáreas de superficie de agua comercial y 1,7 millones de metros cuadrados de superficie, incluidos 521,6 mil metros cuadrados de almacenes. Las características generales de los muelles del puerto de Cartagena son las expuestas en la Tabla 3.9, y se considerará el muelle de Santa Lucía en este estudio, como se ha marcado en la tabla, ya que su especialidad es la que mejor se adapta al buque proyecto.

Tabla 3.9. Características Generales del Puerto de Cartagena

NOMBRE	Eslora canal (m)	Profundidad (m)	Especialidad
Litera para cruceros	300	12,5	Cruceros
Muelle Alfonso XII	400	9	Buques recreo
Muelle de Santa Lucía	385	11	Roll-on/Roll-off y contenedores
Muelle de San Pedro	405	11	Multipropósito
Muelle Príncipe Felipe Sur	350	13,5	Graneles sólidos
Muelle Isaac Peral	480	13,2	Graneles sólidos
Muelle Príncipe Felipe Oeste	180	11,9	Cargas a granel sólidas y líquidas
Muelle Príncipe Felipe Norte	200	12,5	Multipropósito
Muelle Bastarreche	762	21	Superpetroleros
Muelle de Maese	367	10,6	Petróleo y derivados
Muelle Patalan litera 1	225	14,5	Buques tanque
Muelle Patalan litera 2	200	11,1	Buques tanque
Muelle de Espigón	186	8,6	Gas licuado
Muelle de Espigón litera Sureste	250	14,5	Volumen de líquidos
Muelle de Espigón nuevo	250	16	Descarga de gas
Muelle de Espigón litera de metano	445	16	Metano

3.2.2.2. Puerto de Argel

El puerto de Argel es el primer puerto comercial de Argelia y está situado en la parte noroeste de la Bahía de Argel. Está protegido por cinco presas artificiales que suman un total de 6 km y un rompeolas de 2,6 km paralelo a la costa. Las superficies de agua del puerto de Argel constan de 75 hectáreas en la antigua cuenca portuaria, 35 hectáreas en la cuenca Agha y 74 hectáreas en la cuenca Mustapha. El puerto contiene 36 muelles con una longitud total de 8600 m y con profundidades que oscilan entre 5 y 12 m. Con un total de 3300 metros de muelles dedicados a la carga general, el Puerto de Argel contiene más de 1000 m de muelles de contenedores, 682

m de muelles dedicados a reparaciones navales, 610 m de muelles para productos petroleros, 577 m para la flota pesquera, así como otros muelles especializados en cereales, contenedores, betún, combustible y pasajeros. (Con López, 2015).

En la Tabla 3.10 se establece un resumen de las características generales de los muelles identificados en el puerto de Argel.

Tabla 3.10. Características generales puerto Argel

NOMBRE	Longitud de muelle (m)	Profundidad (m)	Especialidad
Moderna estación portuaria (Muelle 11)	300	9	Ferry; 350000 pasajeros/año
Muelle 37	610	10,3	Productos derivados del petróleo
Muelle 26	398	6	Cereales y combustible
Muelle 35	475	9	Cereales
Muelle 19	110	6,3	Contenedores y mercancía general
Muelle 18	276	7,3	Contenedores y mercancía general
Muelle 31	459	9,5	Contenedores y betún
Muelle 22	145	8,8	Contenedores
Muelle 33	435	9	Contenedores
Muelle 30	337	10,5	Contenedores
Muelle 1	140	2,7	Pesca
Muelle 2	38	5,9	Pesca
Muelle 3	121	3,8	Pesca
Muelle 4	278	6	Pesca
Muelle 24	207	6	Carga general
Muelle 25	207	6	Carga general
Muelle 5	174	6,5	Carga general
Muelle 21	190	6,5	Carga general
Muelle 7	185	6,8	Carga general
Muelle 36	179	7	Carga general
Muelle 32	173	7	Combustible y carga general
Muelle 23	360	7	Carga general
Muelle 17	221,5	7,3	Carga general
Muelle 8	262,5	8	Carga general
Muelle 20	300	8	Carga general
Muelle 22	555,8	8,4	Carga general
Muelle 23	145	9	Carga general
Muelle 9	288	9,2	Carga general
Muelle 6	137	9,6	Carga general
Muelle 10	125	10	Carga general
Muelle remolcador	166,8	9,2	Servicio puerto
Muelle 15	124	7,3	Reparación naval

NOMBRE	Longitud de muelle (m)	Profundidad (m)	Especialidad
Muelle 16	216	9,2	Reparación naval
Muelle 14	175	10	Reparación naval

Según la especialidad de cada muelle, se estima que el seleccionado para un ferry será el muelle 11. Esta terminal marítima tiene capacidad tanto para pasajeros como para automóviles, con una longitud de 300 metros y un calado de 9 metros, tiene capacidad para atender a 350.000 pasajeros al año.

3.2.2.3. Puerto de Mostaganem

Mostaganem se encuentra en el norte de Argelia, a 365 km al oeste de Argel, la capital del país. Goza de una posición geográfica estratégica y de un área de influencia regional, debido a la existencia de su importante puerto comercial. Ubicado cerca del primer polo de petróleo y gas de Arzew, el Golfo donde está ubicado el puerto. Las características del puerto se encuentran en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Características generales del puerto de Mostaganem

Tamaño del Puerto	Pequeño
Eslora máxima	152,4 m
Tipo de Puerto	Rompeolas Costero
Profundidad del canal	12,5 - 13,7 metros
Profundidad del muelle de carga	6,4 - 7,6 metros

3.2.2.4. Puerto de Annaba

El puerto de Annaba es uno de los diez principales puertos argelinos, la empresa portuaria de Annaba, una empresa estatal, administra el puerto y las instalaciones, se encuentra ubicado en las intersecciones de las redes de carreteras y ferrocarriles, también está a 11 kilómetros del aeropuerto internacional de esta ciudad y a solo 100 km de la frontera con Túnez, un importante destino turístico para los cruceros. Actualmente, este tiene conexión marítima con Marsella (Francia).

Annaba es una de las ciudades más antiguas de Argelia, fundada en 1295 a.C, en la actualidad presenta el aspecto de una ciudad moderna en plena expansión. Esta ciudad no es un destino turístico extremadamente popular actualmente, lo es en mayor medida para el turismo nacional, ya que contiene muchos lugares que vale la pena visitar, por lo que podría ser un nuevo destino por descubrir.

Tabla 3.12. Características del puerto de Annaba

NOMBRE	Longitud de muelle (m)	Profundidad (m)	Especialidad
Muelle 1	1800	-	Carga general, cereales y líquidas a granel como petróleo
Muelle 2	1400	-	Contenedores
Muelle 3	1800	-	Contenedores
Muelle 4	1150	-	Fosfatos, petróleo y derivados
Muelle 5	3240	-	Carbón, coque, productos de hierro y acero
Terminal uso general	480	8,5	Contenedores refrigerados
Terminal de hierro y acero	-	12,5	Importación de carbón y mineral de hierro
Terminal de hierro y acero	630	9,75	Productos metalúrgicos
Cargas generales	850	9,8	Carga general
Terminal de grano	155	11	Cereales

La terminal de uso general indicada en la Tabla 3.12, y seleccionada para el fin del buque proyecto, se ha seleccionado porque se define como versátil, ya que puede recibir tanto buques portacontenedores como buques Ro-Ro. En este muelle se tratan contenedores, incluidos los contenedores frigoríficos, así como las mercancías generales transportadas por buques Ro-Ro.

3.2.2.5. Puerto de Orán

El puerto de Orán se abre hacia la costa sur del Mediterráneo occidental. Se encuentra a unos 400 km al oeste de Argel, y a menos de 200 km de la costa española, cerca de las principales rutas marítimas que cruzan el Mediterráneo. Junto con Argel, es una de las ciudades más grandes del país. Las características del puerto se encuentran en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Características generales del puerto de Orán

CARACTERÍSTICAS DEL PUERTO	
Tamaño del Puerto:	Grande
Eslora máxima	152,4
Tipo de Puerto:	Rompeolas Costero
Profundidad del canal:	9,4 - 10 metros
Profundidad del muelle de carga:	11 - 12 metros
Profundidad de la marea media:	0,3 metros
Profundidad de la terminal de combustible	9,4 - 10 metros

4. ESTUDIO DE LA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS

Una vez conocidos los puertos sobre las dimensiones generales para la entrada y atraque del buque en los respectivos puertos, se ponen en común los muelles destinados para un transporte marítimo como el establecido en este proyecto. De los puertos de Cartagena y Argel, se pueden tener más características de los muelles destinados a este tipo de transporte, sin embargo, de otros puertos como los de Orán o Mostaganem, al ser más pequeños, los datos que se pueden obtener son generales, obteniendo de las webs oficiales de dichos puertos únicamente datos como eslora máxima, o calado permitido, por lo que lleva a una suposición de que se deberá cumplir con estos requisitos tan generales y poco específicos como los obtenidos en los puertos mencionados al principio. Cabe puntualizar que las dimensiones restrictivas para el atraque y acceso del buque proyecto en puerto serán la longitud de muelle y el calado disponible. En la Tabla 4.1 se recogen las características de cada puerto, a modo resumen.

Tabla 4.1. Características de los puertos para Ferry

Ciudad	Muelle	Longitud del muelle (m)	Profundidad (m)	Uso general muelle
Cartagena	Muelle de Santa Lucía	385	11	Roll-on/Roll-off y contenedores
Argel	Moderna estación portuaria (Muelle 11)	300	9	Ferry; 350000 pasajeros/año
Mostaganem	Muelle de carga	152,4	7,6	Carga general
Annaba	Terminal uso general	480	8,5	Contenedores refrigerados
Orán	Muelle de carga	152,4	12,2	Carga general

De la Tabla 4.1 se puede obtener como conclusión inicial que el buque proyecto deberá tener una eslora máxima de 152,4 m y un calado máximo de 7,6 m si se considerara que hace escala en los puertos de Mostaganem y Orán, si no fuera así, se puede concluir que la eslora no sería una dimensión restrictiva, ya que no sería normal para una ruta de estas características partir con un buque de más de 300 m de eslora.

Una vez hecha esta recopilación de datos sobre los puertos, esencial para poner en estudio dicha ruta, se va a hacer uso de Excel para representar las gráficas, lo que servirá para obtener una visualización general de toda la base de datos que se ha obtenido hasta ahora.

Para comenzar, se representan las capacidades de transporte que tienen los buques que se encuentran operando actualmente en rutas similares, Figura 4.1. Con esto se pretende tener una visión generalizada sobre las capacidades más comunes entre los buques que operan actualmente. Con esta información se obtiene un dato interesante de cara al estudio de viabilidad, se puede estimar la capacidad del buque proyecto.

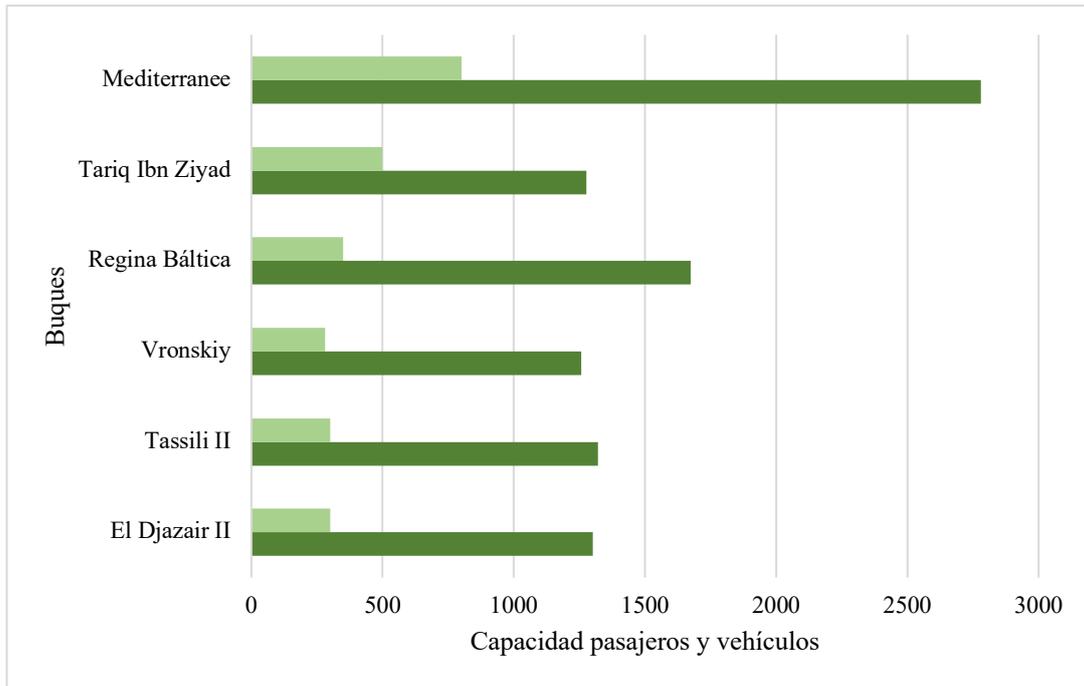


Figura 4.1. Gráfica capacidades de vehículos y pasajeros por buque
Fuente: Base datos buques ferry

Se puede observar claramente en la Figura 4.1 que el buque Mediterraneo es el que en su conjunto, vehículos y pasajeros tiene mayor capacidad, siendo los otros más similares entre sí, lo que a priori nos confirma que el buque que se necesitaría estaría en torno a los 1200 – 1300 pasajeros y sobre los 300 vehículos, tomando como caso excepcional el buque Mediterraneo.

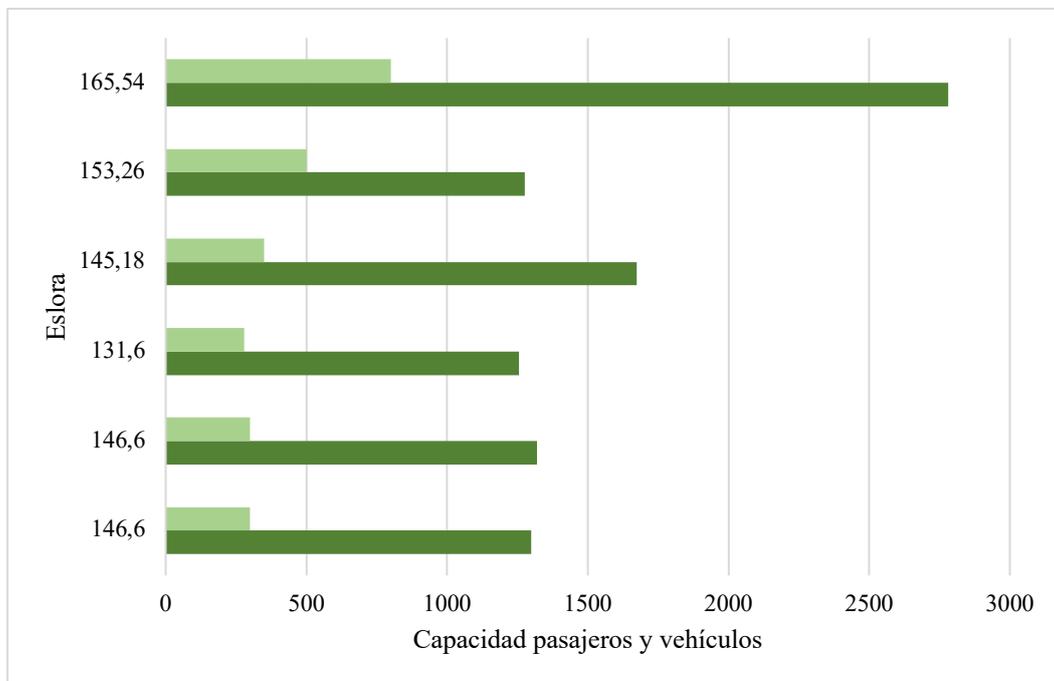


Figura 4.2. Comparación de eslora buques y capacidad
Fuente: Base datos buques ferry

Con la Figura 4.2 se pueden observar que la capacidad de los pasajeros no es estrictamente proporcional al tamaño del buque, en este caso a la eslora, ya que el buque con eslora de 145 m tiene más capacidad de pasajeros que el buque de 153 m, aunque sí que se aprecian valores de capacidad de pasajeros bastante similares si se toma como excepción la eslora de 165 m, y la de 145 m. A diferencia de la capacidad de pasajeros, la capacidad de vehículos sí que se ciñe más a la eslora, esto tiene sentido, ya que los vehículos son carga con dimensiones estandarizadas.

En la Figura 4.3 se representa el calado medio de los buques operativos con las profundidades de los puertos, de la misma forma que se ha hecho con las longitudes de muelles y eslora de los buques en la Figura 4.2.

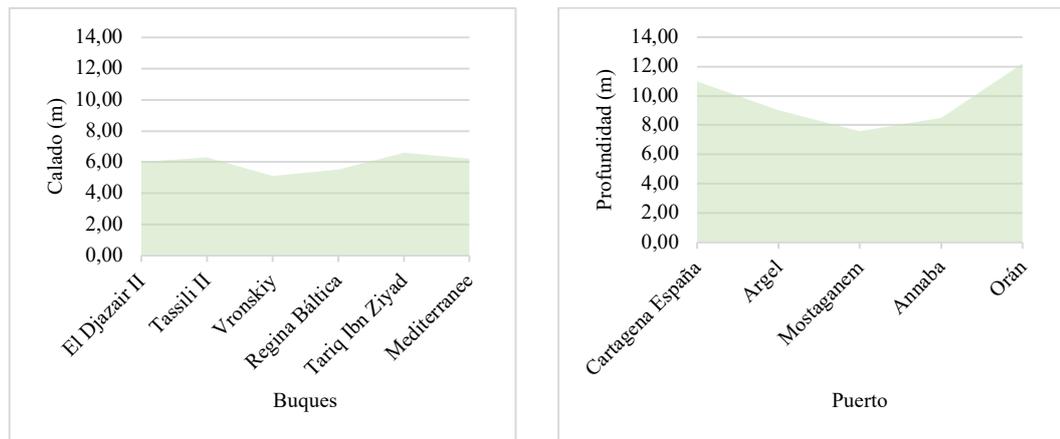


Figura 4.3. Comparación de calado buques/puertos
Fuente: Base datos buques ferry

En la Figura 4.3 se puede observar que todos los buques son aptos para cualquiera de los puertos que hemos establecido, por lo que el calado del buque no será restrictivo a la hora de entrada a los puertos, ya que el valor mínimo lo tenemos en 7,6 m. Con estas estimaciones, se representa en la Tabla 4.2 los valores máximos de las dimensiones del buque proyecto, teniendo en cuenta el rango del coeficiente de bloque obtenido de los apuntes de la asignatura de hidrostática. (Hidrostática, 2020).

Tabla 4.2. Dimensiones máximas buque proyecto

Eslora (m)	Manga	Calado (m)	Coef. bloque
152,4	No es limitadora	7,6	0,5 – 0,7

5. DEFINICIÓN DE LA CONDICIÓN DE SERVICIO DEL BUQUE

Al hacer una remotorización, hay que tener en cuenta que el centro de gravedad del buque se modificará, ya que no es lo mismo un motor diésel a un dual fuel, al igual que los tanques de combustibles de una configuración a otra serán distintos y tendremos distintas necesidades. Por alcance del proyecto, solo se va a centrar la atención en la parte de selección de la planta propulsora.

5.1.Rangos de velocidad

Para estimar las velocidades a las que deberá navegar el ferry se hará una pequeña comparativa general con los buques que se han seleccionado como similares al buque proyecto, y por norma general los rangos de velocidades a los que navegan los ferries son entre 15-23 nudos, teniendo en cuenta que los de 15 nudos serían los más antiguos de la flota.

5.2.Propulsión y generación de energía

Los ferries, suelen incorporar entre uno y hasta cuatro motores diésel, encontrando todo tipo de distribuciones en función de las características del buque, obviamente el número de motores depende de la capacidad de carga y potencia necesaria.

Es bastante común en un buque tipo ro-pax de grandes dimensiones encontrarse con cuatro motores principales, dos hélices, dos timones y hélices de proa para las maniobras con accionamiento eléctrico. También hay que tener en cuenta los motores auxiliares, que podrían ser incluso 3, siendo uno de emergencia, según marcan las normativas en seguridad. Estos no se van a calcular por alcance del proyecto.

Teniendo en cuenta que los ferries tienen que estar provistos de una propulsión que permita una buena maniobrabilidad, se va a estimar la utilización de propulsores azimutales, ya que este tipo de propulsión consiste en una hélice que orienta su impulso girando 360° paralelamente al mar, esto mejora significativamente la maniobrabilidad, y se realizará la comparativa con una planta propulsora convencional, suponiendo que el buque base a remotorizar cuenta con propulsión por línea de ejes.

Los propulsores azimutales, como los que se pueden ver en la Figura 5.1, llevan un motor eléctrico acoplado al propulsor, alimentado por un alternador que se sitúa en cámara de máquinas, por lo que pueden girar sin necesidad de una línea de ejes rígida.



Figura 5.1. Propulsor azimutal o pods
Fuente: Wikipedia (2019)

Los sistemas de propulsión tipo pod, Figura 5.2, consisten en una hélice directamente acoplada a un motor eléctrico, encapsulado en una pieza hueca con forma hidrodinámica, el pod. Esta pieza tiene un movimiento azimutal de 360° que dota al barco de la necesaria maniobrabilidad, como se ha indicado anteriormente, por lo que se evita el dimensionamiento e instalación del timón. En la hélice se consigue la variación de velocidad mediante variadores de frecuencia.

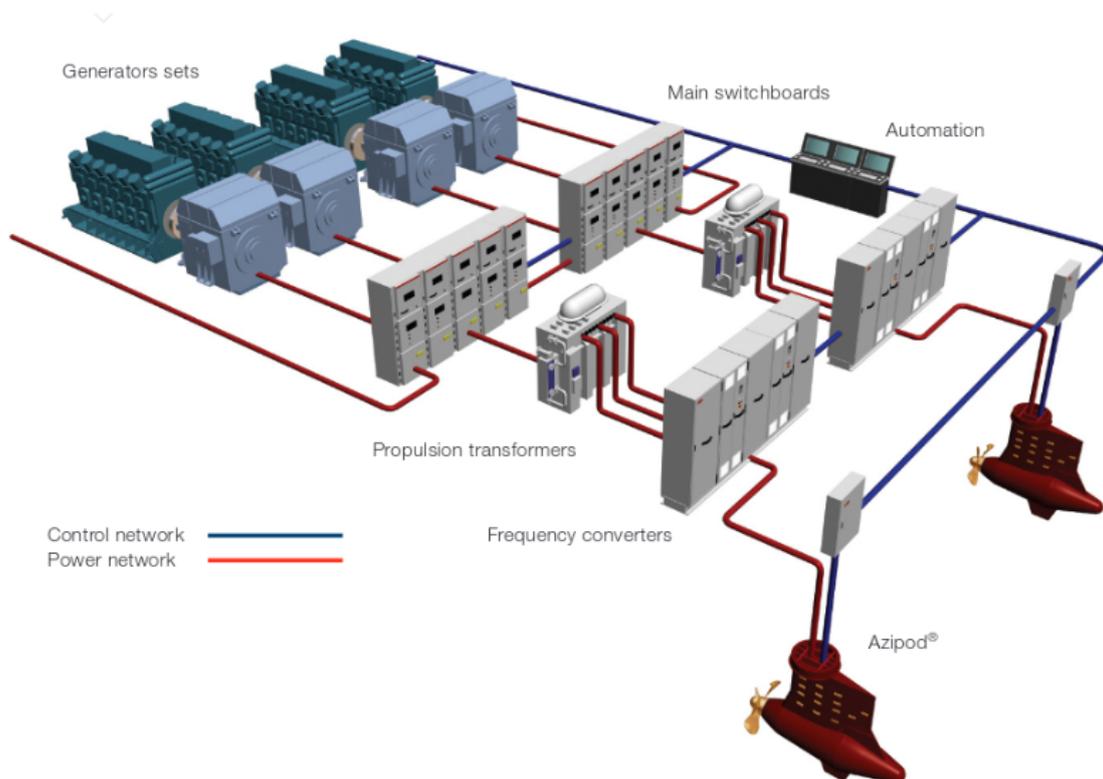


Figura 5.2. Planta de propulsión azimutal o pods
Fuente: Revista digital de ingeniería naval (2021)

Se ha obtenido de la revista digital de ingeniería naval, (Proyectos Navales, 2019), una comparación del sistema de propulsión por pods y un sistema de propulsión convencional, eje-hélice y timón.

Ventajas de la propulsión por Pods:

1. Maniobrabilidad excelente.
2. Versatilidad en cuanto a su posición en el casco.
3. Posibilidad de una instalación diésel-eléctrica.
4. Menor instalación de equipos.
5. Menores vibraciones.
6. Se mejora el rendimiento propulsivo.
7. Mayor flexibilidad en el diseño que con una línea de ejes.

Inconvenientes de la propulsión por Pods:

1. Mayores costes de mantenimiento.
2. Potencia limitada (el modelo más potente da unos 27MW, esto son 37.000 CV). Por lo que, una configuración típica requiere como mínimo la instalación de 2 pods, incluso más en función de la velocidad que se quiera alcanzar.

Una vez analizados los pros y contras de una instalación con pods, queda bastante claro que en el caso de ser el buque proyecto un ferry, las ventajas que se consiguen superan con creces a los inconvenientes.

Para montar un sistema de pods, hay que contar con un motor eléctrico, el cual es el único que su posición no permite diseño, puesto que tiene que ir justo encima del pod, ya que es el que le da el giro azimutal al propulsor. En referencia a la alimentación del motor eléctrico se puede hacer de la manera que se desee, lo habitual es diseñar una instalación diésel-eléctrica, la cual consiste en un conjunto de grupos generadores diésel funcionando constantemente (no necesariamente todos al mismo tiempo), cuyos alternadores generan la energía eléctrica que van demandando los equipos y servicios, entre ellos, los motores eléctricos de los propulsores. De esta manera la instalación eléctrica se puede optimizar integrando todos los consumidores eléctricos a bordo, y no solo el propulsor. Con esta instalación el consumo se optimiza.

Una característica favorable para un buque ferry propulsado con pods es la flexibilidad para definir la disposición general, ya que la cámara de máquinas se puede disponer en cualquier localización del buque, lo que puede permitir mayor facilidad a la hora de tener una rampa de acceso a vehículos en popa.

5.3.Alternativas de combustibles

En cuanto al combustible de los ferries convencionales se puede utilizar MGO (Marine Gas Oil), que podría cumplir en algunos casos la normativa de contenido en Azufre, aunque cuando se anunciaron nuevas normas globales sobre el límite de azufre en los combustibles marinos, el VLSFO (Very Low Sulphur Fuel Oil) se ha convertido en un rival inesperado, ya que el contenido en azufre es menor y según el diario *Spanishports*, el VLSFO para suministro en Singapur, el puerto con más actividad de abastecimiento de combustible del mundo, se cotiza actualmente a 465 \$/t, según datos de los corredores *Starfuels*, frente 575 \$/t para el MGO y 377 \$/t del HFO, aunque estos precios suelen ser cambiantes a lo largo de los años. (*Positivas expectativas sobre los nuevos combustibles VLSFO*, 2019).

Con esta situación, se tendrá que realizar la comparativa entre una opción con motor diésel usando combustible VSLFO y la opción de remotorizar para utilizar dual fuel, ya que es el combustible que cumpliría con los niveles de contaminación más restrictivos.

6. CÁLCULO DEL SISTEMA PROPULSIVO

6.1.Introducción

En este apartado se van a calcular las necesidades del equipo propulsor.

- Resistencia al avance del buque.
- Potencia a instalar para que el buque alcance la velocidad de servicio.
- El equipo de gobierno y maniobra.

Se va a realizar una comparación utilizando tanto una propulsión por pods como con una línea de ejes acoplada a los motores principales, con un timón de palas fijas y una hélice propulsora de paso fijo, a su vez se calculará la configuración óptima, si de un timón y una hélice o, por el contrario, dos timones y dos hélices.

Una vez conocida la resistencia al avance y la potencia de remolque, para el caso de la línea de ejes, se seleccionará la hélice óptima de entre las de la Serie B de Wageningen, definiendo el rendimiento propulsivo y quedando así definida la potencia que tendrá que desarrollar el motor principal para este caso.

La potencia necesaria que debe entregar el motor se va a estimar calculando de forma manual y en Maxsurf con un modelo de Ferry predeterminado y adaptado a unas dimensiones de eslora, manga y calado, similares a las de los buques que cumplen el mismo servicio, y teniendo en cuenta las restricciones que introducen en las dimensiones las características de los puertos en los que se estima que se va a realizar escala.

Como base para estimar con criterio ciertos valores y datos que no disponemos, se va a estimar la velocidad de servicio en función a la base de datos que se dispone con buques similares en características principales y función.

6.1.1. Estimación de la velocidad de servicio

Basando la estimación de la velocidad de servicio en la velocidad de los buques que forman la base de datos, se realiza un diagrama de dispersión para poder visualizar el rango de velocidades en los que se mueven los buques con eslora muy similar a la del buque proyecto.

Se puede observar en la Figura 6.1 que acotando las áreas en función de la eslora del buque proyecto de 152,4 m, y sin tener en cuenta los valores aislados, las velocidades para estos buques oscilan entre 20,5 nudos y 22 nudos, teniendo en cuenta que la tendencia está en un aumento de velocidad hasta los 23,5 nudos a medida que crece la eslora hasta 170 m, se podría tomar como estimación inicial una velocidad de servicio del buque de 22 nudos.

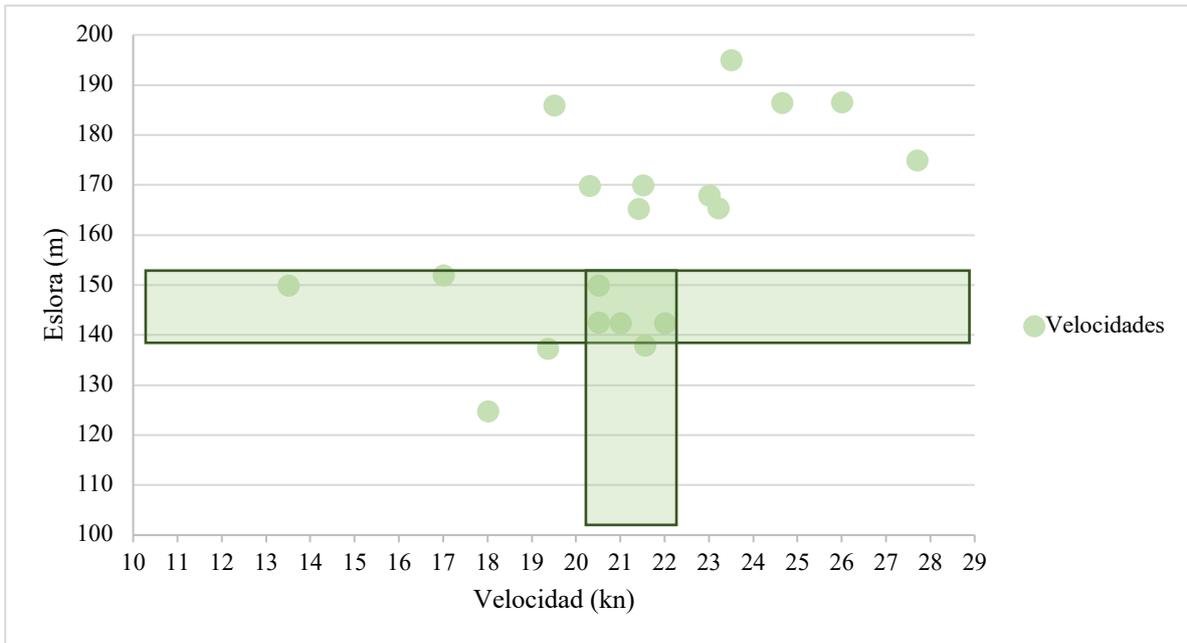


Figura 6.1. Gráfica por puntos de eslora y velocidad de los buques
Fuente: Base de datos de buques ferry

6.1.2. Estimación de las dimensiones finales del buque

Se van a ajustar las dimensiones del buque base en Maxsurf Modeler, teniendo en cuenta que anteriormente se ha estimado una eslora máxima de 152,4 m, una manga de 25 m, que no es limitadora, pero si permite que el buque tenga estabilidad para dicha eslora, por lo que se calcula en Maxsurf un calado máximo de 7,6 m y obteniendo el coeficiente de bloque que para un ferry conocemos que está entre un 0,5 y 0,7, obteniéndolo de 0,661, según los cálculos en Maxsurf.

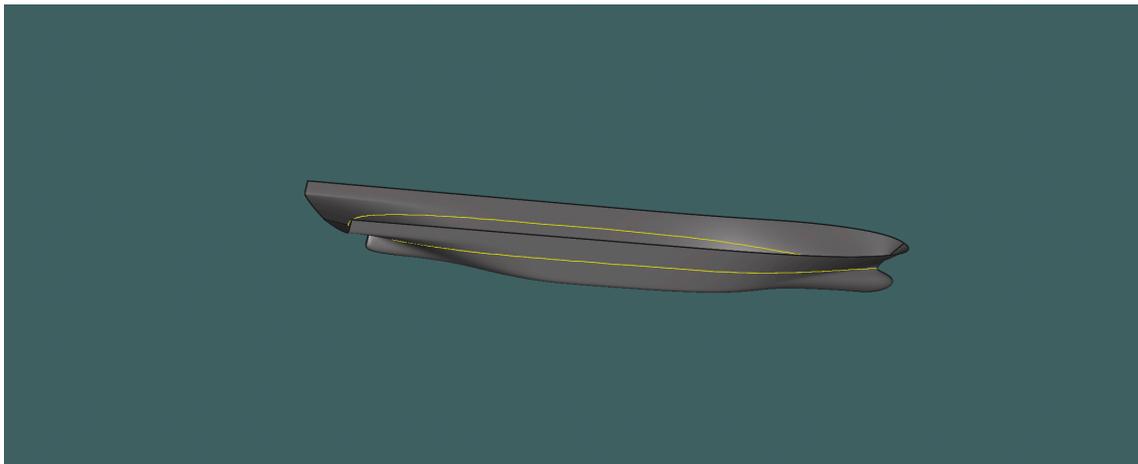


Figura 6.2. Casco del buque proyecto
Fuente: Maxsurf

Para facilitar los cálculos en Maxsurf, se va a trabajar únicamente con el casco del buque, Figura 6.2, siendo las dimensiones de este las representadas en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Dimensiones del buque proyecto

Esloira (m)	Manga (m)	Calado (m)	Coef. Bloque
152,4	25	6,6	0,661

6.2. Estimación de la potencia propulsora

Maxsurf tiene implementados los siguientes métodos de cálculo de resistencia al avance.

- Wyman: aplicación en buques de planeo y desplazamiento
- Holtrop: aplicación en buques-tanques, buque de carga, pesqueros, remolcadores, contenedores y fragatas.
- Compton: aplicación en buques de patrulla costera y buques que operen tanto en régimen de semi planeo como de desplazamiento.
- Fung: aplicación en cascos con espejo de popa.
- Series 60: aplicación en buques de carga tipo “single-screw”.
- KRS: algoritmo presentado por Korean Registrar of Shipping, aplicable a barcas con forma de caja.

La estimación de la potencia propulsora se va a realizar haciendo uso de programación en hoja de cálculo y con el software Maxsurf, analizando si son de aplicación en buques tipo ferry con las características del buque proyecto, utilizando los métodos de cálculo que cumplan con los rangos de operatividad de estos.

6.2.1. Método de Holtrop

El método de Holtrop es un método estadístico obtenido a partir de regresiones matemáticas de los resultados de los ensayos del Canal de Wageningen y de resultados de pruebas de mar de buques construidos, que proporciona estimaciones de la resistencia bastante satisfactorias.

La muestra de buques que se ha tomado para este método abarca petroleros, bulkcarriers, buques de carga general, pesqueros, remolcadores, portacontenedores y fragatas, entre otros. El procedimiento de predicción de potencia es válido para buques de una y dos líneas de ejes. El rango de aplicación de este método se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Rango de aplicación del método de Holtrop

Tipo de buque	Fn _{max}	C _p		L/B		B/T	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Petroleros, bulkcarriers	0.24	0.73	0.85	5.1	7.1	2.4	3.2
Arrastreros, costeros, remolcadores	0.38	0.55	0.65	3.9	6.3	2.1	3.0
Portacontenedores	0.45	0.55	0.67	6.0	9.5	3.0	4.0
Cargueros	0.30	0.56	0.75	5.3	8.0	2.4	4.0
Roll-on Roll-off, Ferries	0.35	0.55	0.67	5.3	8.0	3.2	4.0

Como se puede observar en la Tabla 6.3, el buque proyecto entra dentro del rango de aplicación, los tipos de buques Roll-on Roll-off y Ferries, estimando una velocidad de 22 nudos, se obtienen los datos del buque por Maxsurf y se representan en la Tabla 6.4.

Tabla 6.3. Datos del buque proyecto para la aplicación del método de Holtrop

$F_{n_{máx}}$	C_p	L/B	B/T
0,293	0,667	6,096	3,788

Tabla 6.4. Datos obtenidos del buque proyecto

Eslora línea de agua (m)	152,4
Manga (m)	25
Calado (m)	6,6
Volumen de carena (m ³)	16613,849
Superficie mojada (m ²)	4395,901
Coficiente prismático (Cp)	0,667
Coficiente línea de agua. (Cwp)	0,776
1/2 ángulo de entrada (°)	15,4
LCG desde mitad del buque (m)	-1,577
Superficie sección máxima (m ²)	163,435
Área transversal bulbo (m ²)	18,433
Altura del bulbo desde la quilla (m)	3,231
Calado proa (m)	6,6
Densidad agua salada (t/m ³)	1,0259
Desplazamiento	17044,1477

En el cálculo de la curva de resistencia por el método de Holtrop calculado por Maxsurf se obtienen los datos representados en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Datos obtenidos curva de resistencia por Holtrop

V (nudos)	V (m/s)	Rt (kN)	Rt (kg)	Potencia (kW)
11,00	5,66	180,00	18354,60	1198,47
11,55	5,94	198,10	20200,26	1384,95
12,10	6,22	217,40	22168,28	1592,02
12,65	6,51	238,00	24268,86	1821,85
13,20	6,79	260,00	26512,20	2076,99
13,75	7,07	283,60	28918,69	2360,32
14,30	7,36	309,10	31518,93	2675,15
14,85	7,64	336,60	34323,10	3024,97
15,40	7,92	366,30	37351,61	3413,65
15,95	8,20	398,50	40635,05	3846,43
16,50	8,49	433,50	44204,00	4329,29

V (nudos)	V (m/s)	Rt (kN)	Rt (kg)	Potencia (kW)
17,05	8,77	471,50	48078,86	4865,63
17,60	9,05	512,10	52218,84	5454,66
18,15	9,34	555,00	56593,35	6096,83
18,70	9,62	601,00	61283,97	6802,28
19,25	9,90	651,80	66464,05	7593,59
19,80	10,19	709,30	72327,32	8499,77
20,35	10,47	775,00	79026,75	9544,68
20,90	10,75	848,60	86531,74	10734,28
21,45	11,03	928,00	94628,16	12047,65
22,00	11,32	1009,30	102918,32	13438,76

En las Figuras 6.3 y 6.4 se representan las gráficas con las curvas resistencia – velocidad y potencia – velocidad, respectivamente, de los datos obtenidos en la Tabla 6.5.

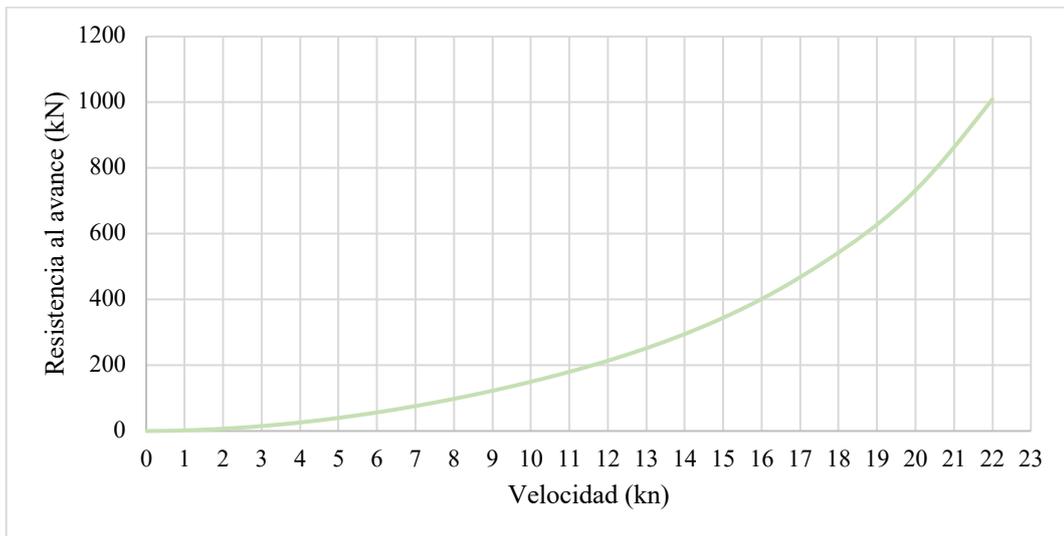


Figura 6.3. Método de Holtrop. Resistencia – Velocidad
Fuente: Maxsurf

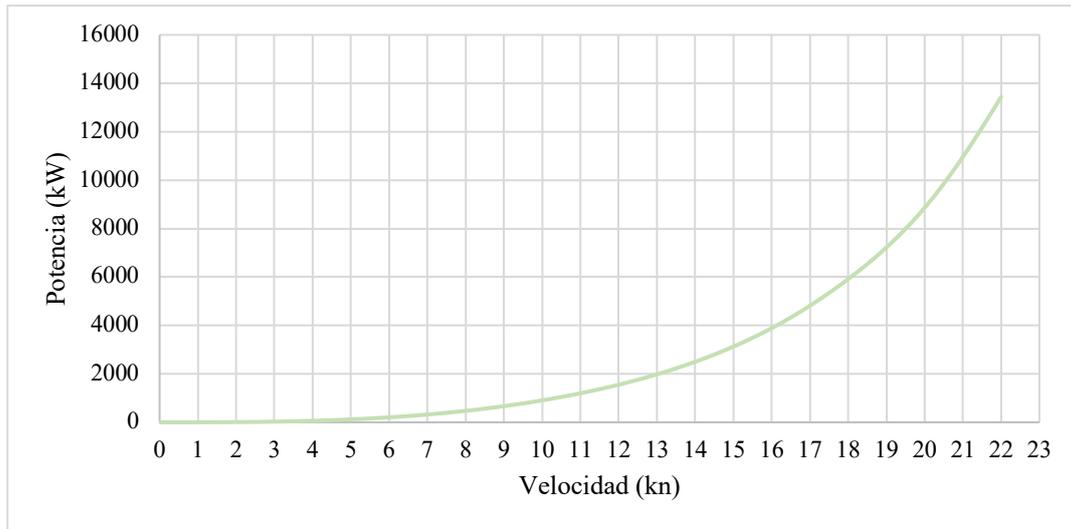


Figura 6.4. Método de Holtrop. Potencia – Velocidad (kW)
Fuente: Maxsurf

6.2.2. Método de Fung

Este método, se estima mediante Maxsurf, pero no es de los más utilizados, por lo que no se va a considerar de aplicación. Aunque al lanzar Maxsurf, con las características tenidas en cuenta no ha dado error de cálculo, Tabla 6.16, esto puede deberse a que no se consideran ciertas características en el software.

6.2.3. Método de Van Oortmerssen

Este método está basado en modelos de pesqueros y remolcadores, por lo que no tendría aplicación en el buque proyecto.

6.2.4. Método Series 60

Fue desarrollado para estimar la resistencia al avance de buques de carga con un único propulsor, por lo que tampoco sería de aplicación al buque proyecto, ya que no se trata de un buque de carga, y se prevé la utilización de los propulsores.

6.2.5. Método de Holtrop manual

Se realiza una comprobación calculando la curva de resistencia con el método de Holtrop-Mennen programado manualmente mediante hoja de cálculo Excel. Se utilizan los valores representados en la Tabla 6.6 y obtenidos de Maxsurf para el buque proyecto.

Tabla 6.6. Datos obtenidos en Holtrop manual

Eslora entre perpendiculares (m)	152,4
Eslora en la flotación (m)	152,4
Manga (m)	25
Calado (m)	6,6
Desplazamiento (kg)	17044147,69
Coefficiente de bloque	0,661
Coefficiente de la maestra	0,991
Coefficiente prismático	0,667
Coefficiente de la flotación	0,776
Abscisa del centro de carena % LF	-1,577
Velocidad en pruebas (nudos)	22
Bulbo de proa	Sí (Características por defecto Holtrop)
CSTERN	Cuadernas en U
Superficie mojada (m²)	4395,901
Área transversal de la obra muerta (m²)	163,435
Superficie de las quillas de balance (m²)	18,433
Rugosidad de la carena (µm)	150
$\alpha = Lb/Lm$	30
agua salada (kg/m³)	1025
Tagua (°C)	15
g (m/s²)	9,81
vs (m²/s)	1,18732E-06
vd (m²/s)	1,13944E-06

Se tienen en cuenta las siguientes resistencias:

- Resistencia viscosa
- Resistencia de apéndices

Para el cálculo de la resistencia de apéndices se tiene en cuenta que el buque dispondrá de quillas de balance, ya que según su funcionalidad es necesaria una gran estabilidad en la navegación, los datos de estos apéndices se incluyen en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Datos apéndices método Holtrop

Tipo de apéndice	(1+k ₂)
Timón buque 1 hélice	1,3 a 1,5
Timón buque 2 hélices	2,8
Timón y quillote	1,5 – 2,0
Quillote solo	1,5 – 2,0
Arbotantes	3,0
Henchimientos protectores	3,0
Henchimientos integrados	2,0

Ejes	2,0 a 4,0
Aletas estabilizadoras	2,8
Domo	2,7
Quillas de balance	1,4

- Resistencia por formación de olas
- Resistencia de presión producida por el bulbo cerca de la flotación

Los valores del bulbo se obtienen de Maxsurf, indicados en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Características bulbo proa

Área bulbo (m ²)	18,433
Altura bulbo (m)	3,231

- Resistencia debida a la correlación modelo-buque

Esta resistencia se calcula mediante un ensayo en canal del buque real a escala, como no se puede disponer de estos datos reales del ensayo, se dispone de los datos del ensayo de un buque similar utilizado en el trabajo de la asignatura de hidrodinámica (2019). Como en dicho trabajo solo se disponía de las resistencias al avance hasta una velocidad de 19 nudos, se ha creado una gráfica que representa esta resistencia del modelo frente a la velocidad de este y mediante el cálculo de su línea de regresión exponencial (Figura 6.5), (se conoce que la resistencia al avance frente a la velocidad crece de manera exponencial), se ha podido calcular esta resistencia al avance de los 19 nudos a los 22 que son necesarios para este buque proyecto.

No se calcula la resistencia para menos de 11 nudos, se prescinde de estos cálculos ya que el dato que interesa es la resistencia máxima demandada.

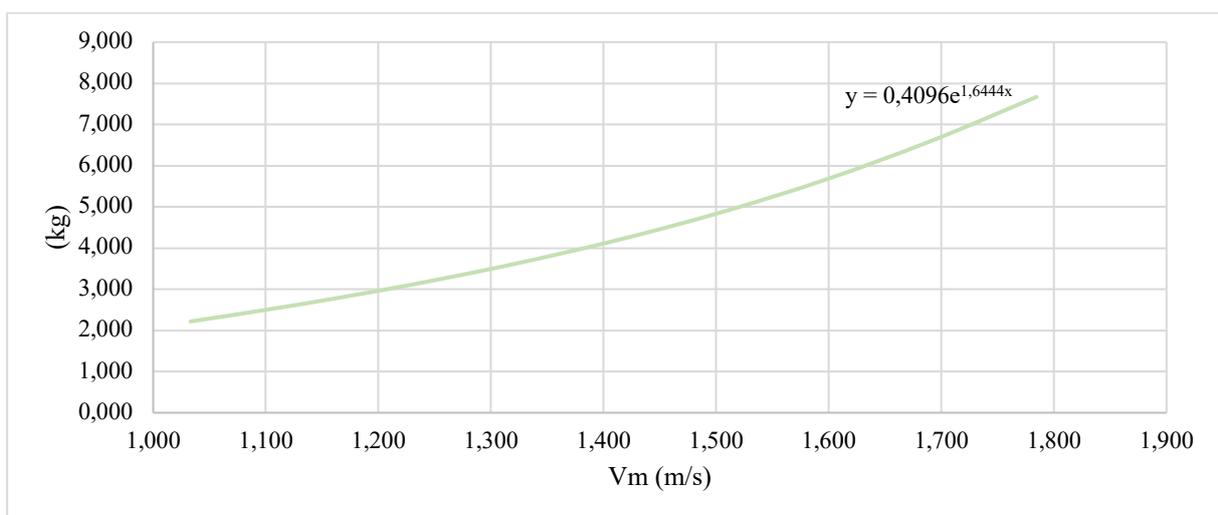


Figura 6.5. Recta de regresión. Resistencia total modelo – Velocidad modelo

Obteniendo así, los datos para las velocidades y resistencia del modelo mostrados en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9. Resultados ensayo Holtrop manual

Vb (nudos)	Vb (m/s)	Vm (m/s)	RTm (kg)
11	5,659	1,033	2,217
12	6,173	1,127	2,617
13	6,688	1,221	3,067
14	7,202	1,315	3,579
15	7,717	1,409	4,169
16	8,231	1,503	4,854
17	8,745	1,597	5,655
18	9,260	1,691	6,597
19	9,774	1,785	7,669
20	10,289	1,879	8,993
21	10,803	1,972	10,494
22	11,318	2,066	12,247

Una vez se obtiene el número de Froude, el coeficiente de flotación y el número de Reynolds, indicados en la Tabla 6.10, se obtendrán la resistencia viscosa, por apéndices, por formación de olas y por el bulbo, esto se puede ver en la Tabla 6.11, y con estos datos se obtiene finalmente la resistencia total, Tabla 6.12.

Tabla 6.10. Resultados ensayo Holtrop manual

Fn	Rn	CF
0,15	7,26E+08	1,59E-03
0,16	7,92E+08	1,58E-03
0,17	8,58E+08	1,56E-03
0,19	9,24E+08	1,55E-03
0,20	9,90E+08	1,53E-03
0,21	1,06E+09	1,52E-03
0,23	1,12E+09	1,51E-03
0,24	1,19E+09	1,50E-03
0,25	1,25E+09	1,49E-03
0,27	1,32E+09	1,48E-03
0,28	1,39E+09	1,47E-03
0,29	1,45E+09	1,46E-03

Tabla 6.11. Resultados resistencias Holtrop manual

Resistencia viscosa	Resistencia apéndices	Resistencia formación olas	Resistencia por el bulbo	Resistencia correlación modelo-buque
1,12E+04	6,88E+01	4,56E-02	1056,84	3,14E+03
1,31E+04	8,10E+01	3,33E-01	1207,30	3,73E+03

Resistencia viscosa	Resistencia apéndices	Resistencia formación olas	Resistencia por el bulbo	Resistencia correlación modelo-buque
1,53E+04	9,41E+01	1,82E+00	1353,48	4,38E+03
1,76E+04	1,08E+02	7,86E+00	1494,26	5,08E+03
2,00E+04	1,23E+02	2,82E+01	1628,96	5,83E+03
2,26E+04	1,39E+02	8,71E+01	1757,19	6,63E+03
2,53E+04	1,56E+02	2,38E+02	1878,79	7,49E+03
2,81E+04	1,73E+02	5,74E+02	1993,77	8,40E+03
3,11E+04	1,92E+02	1,26E+03	2102,22	9,36E+03
3,43E+04	2,11E+02	2,67E+03	2204,36	1,04E+04
3,76E+04	2,31E+02	5,51E+03	2300,42	1,14E+04
4,10E+04	2,52E+02	1,04E+04	2390,68	1,25E+04

Tabla 6.12. Resultados resistencia total y Holtrop manual

Rt	EHP (CV)	EHP (kW)
15432,10	1164,37	868,27
18169,19	1495,51	1115,20
21106,26	1882,04	1403,43
24244,21	2328,14	1736,10
27590,85	2838,77	2116,87
31168,84	3420,69	2550,81
35030,79	4084,81	3046,05
39268,18	4848,27	3615,35
44043,59	5739,97	4280,30
49739,46	6823,46	5088,25
57044,59	8216,89	6127,33
66629,49	10054,55	7497,68

Para un mejor análisis, se representa en la Figura 6.6 la curva de resistencia al avance con los datos calculados en la Tabla 6.12.

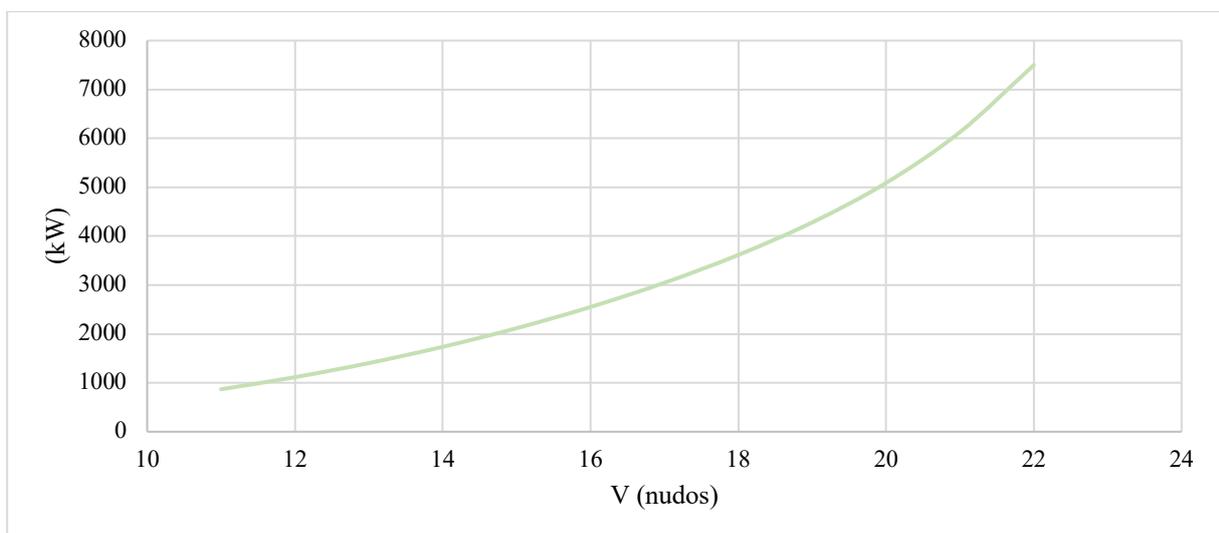


Figura 6.6. Curva de resistencia al avance. Velocidad - Potencia

6.2.6. Elección del método de estimación de la resistencia

Una vez se ha calculado la resistencia al avance con los métodos que se han considerado de aplicación, se puede ver en la Tabla 6.13 los datos obtenidos en Maxsurf.

Tabla 6.13. Resultados de resistencia en Maxsurf

Parámetro	Valor	Holtrop	Van Oortmerssen	Series60	Fung
LWL (m)	152,4	152,4	152,4 (alto)	152,4	152,4
Manga (m)	25	25	25 (bajo)	25 (alto)	25
Calado (m)	6,6	6,6	6,6 (bajo)	6,6 (bajo)	6,6
Carena (m ³)	16613,849	16613,849	16613,849 (alto)	16613,849	16613,849
Área mojada (m ²)	4395,901	4395,901	4395,901 (alto)	4395,901	4395,901
Coef. Prismático	0,667	0,667	0,667	-	0,667
Área transversal bulbo (m ²)	18,433	18,433	-	-	18,433
Altura bulbo (m)	3,231	3,231	-	-	-

Como dato adicional y orientativo a los cálculos se tiene en cuenta la base de datos de los buques similares se puede observar que buques que alcanzan velocidades de 22 nudos, están demandando potencias de aproximadamente 19000 kW, Figura 6.7. Aunque en la base de datos se han tenido en cuenta buques que alcanzan velocidades mayores de 24 nudos, estos se consideran *fast ferries* y no se tendrán en cuenta para sacar ciertas conclusiones.

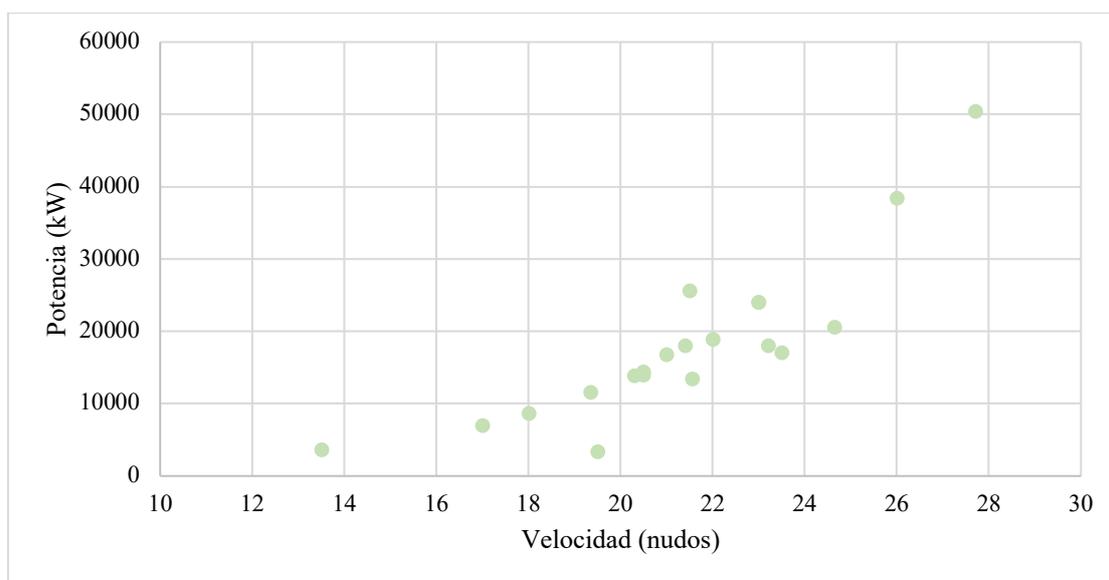


Figura 6.7. Curva de potencia frente a velocidad
Fuente: Base de datos buques

Con los valores obtenidos de los cálculos anteriores, se procede a analizar la gráfica que compara ambos métodos de Holtrop considerados válidos y de aplicación, Figura 6.8.

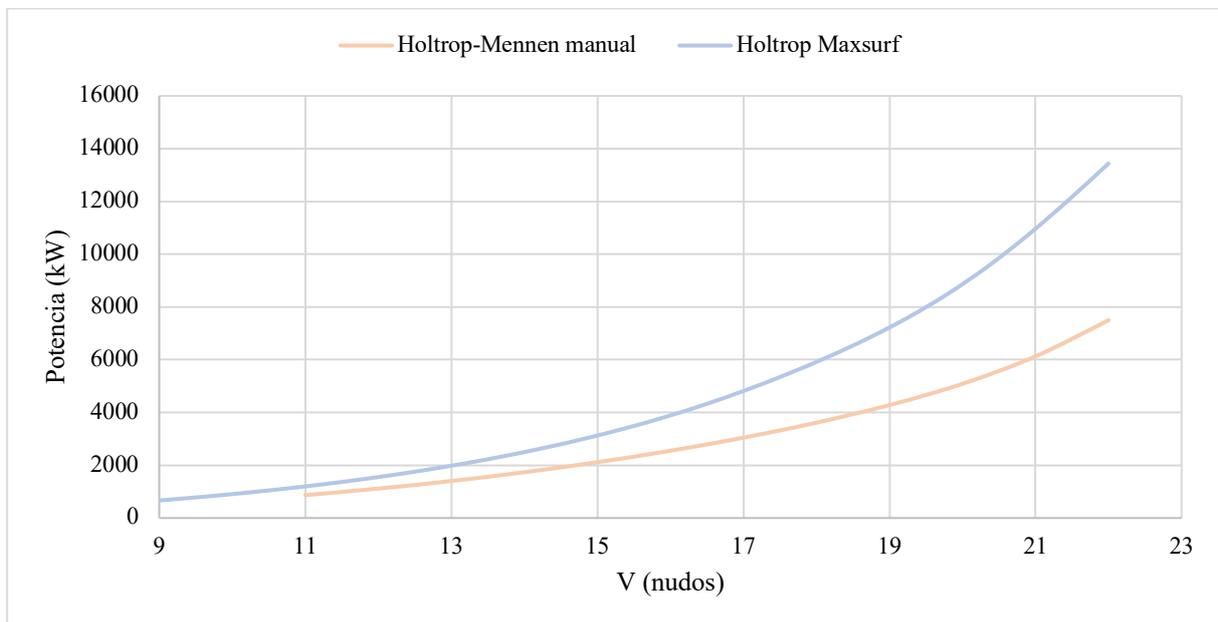


Figura 6.8. Curva de potencia frente a velocidad en los diferentes métodos
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 6.8 que hay bastante diferencia entre ambos métodos calculados, conforme aumenta la velocidad, hasta que a los 22 nudos se diferencian en 6000 kW, esto puede significar que los datos obtenidos por el método de Holtrop manual, se tienen en cuenta muchas menos características del buque, calculando en base a datos estándar. Si se tiene en cuenta como guía la base de datos de los buques, Figura 6.9, el valor de Holtrop en Maxsurf está sobre los 13000 kW, sin haber aplicado aún los rendimientos, si se compara este valor frente a los 19000 kW que se ha mencionado anteriormente de la base de datos de buques, se podría considerar fiable el resultado obtenido, y más realista que los 7000 kW de Holtrop Manual.

Con este planteamiento, se tomará como válido para el estudio el cálculo por el método de Holtrop mediante Maxsurf, siendo este el más restrictivo.

6.2.7. Estimación de los rendimientos propulsivos

El rendimiento propulsivo es una medida de eficiencia que se puede utilizar tanto en el contexto de la propulsión de vehículos, como cohetes, aviones o barcos. Su fórmula se expresa generalmente como la relación entre la potencia útil generada por el sistema de propulsión y la potencia total proporcionada al sistema, (1).

$$\mu_p = \frac{\text{potencia útil}}{\text{potencia instalada}} \quad (1)$$

Dicho rendimiento propulsivo también se puede representar como el producto de los diferentes rendimientos, mecánico, propulsor aislado, carena y rotativo – relativo, tal y como se muestra en la fórmula (2).

$$\mu_p = \mu_M \cdot \mu_0 \cdot \mu_H \cdot \mu_R \quad (2)$$

Siendo,

μ_M : rendimiento mecánico

μ_0 : rendimiento del propulsor aislado

μ_H : rendimiento de la carena

μ_R : rendimiento rotativo – relativo

Una medida del rendimiento de la propulsión con mayor significado es la relación entre la potencia útil obtenida, EHP y la potencia realmente entregada al propulsor, DHP, este rendimiento se representa de la siguiente forma, η_D , recibiendo el nombre de rendimiento cuasi-propulsivo. Si a una cierta velocidad la potencia efectiva es EHP, la potencia a instalar vendrá dada por la expresión (3).

$$BHP = \frac{EHP}{\mu_D \cdot \mu_M} \quad (3)$$

Normalmente en motores diésel el punto de funcionamiento del propulsor se fija con un porcentaje de la potencia instalada, que varía entre el 85% y el 90%, al 100% de las revoluciones nominales. Si llamamos K_P a ese coeficiente, que anteriormente se ha estimado en 0,85, necesitaremos una potencia calculada por la fórmula (4).

$$BHP = \frac{EHP}{\mu_D \cdot \mu_M \cdot K_P} \quad (4)$$

Al estimar el rendimiento cuasi-propulsivo se está estimando según la fórmula (5).

$$\mu_D = \mu_0 \cdot \mu_H \cdot \mu_R \quad (5)$$

Conocido como, μ_H , el rendimiento de la carena y μ_R , el rendimiento rotativo–relativo, estos se pueden estimar con bastante aproximación con fórmulas estadísticas, mientras que μ_0 , es el rendimiento del propulsor aislado, que depende de las características y del punto de funcionamiento del propulsor, por lo que no se puede conocer con exactitud hasta que no se haya seleccionado el propulsor óptimo.

Al llegar a este punto, conocido el rendimiento del propulsor aislado, calcularemos de nuevo el rendimiento propulsivo, (6).

$$\mu_P = \mu_M \cdot \mu_D \quad (6)$$

Para la estimación del rendimiento cuasi-propulsivo existen diversas expresiones, se enumeran a continuación:

- Fórmula de Lap
- Fórmula de Parga
- Fórmula de Parga modificada
- Fórmula del Canal de El Pardo

Se va a calcular mediante las diferentes fórmulas de Parga y la del Canal de El Pardo, para poder comparar los resultados obtenidos. Generalmente, como en una primera aproximación no se conocen las revoluciones de la hélice, se suelen estimar en función de los datos incluidos en la Tabla 6.14.

Tabla 6.14. Estimación de revoluciones según desplazamiento del buque

Desplazamiento (Tm)	Revoluciones (rpm)
Menos de 1000	500
de 1000 a 2000	400
de 2000 a 3000	300
de 3000 a 5000	200
de 5000 a 7500	150
de 7500 a 12000	125
de 12500 a 25000	115
de 25000 a 50000	110
más de 50000	100

Como el desplazamiento estimado por Maxsurf ha sido de 13613 t, se estimarían unas 115 rpm, pero como este valor es demasiado bajo para las velocidades para las que se proyecta el buque, este valor se va a estimar según la base de datos obtenida de buques similares al buque proyecto, se puede observar en la Figura 6.11 que para velocidades de 22 nudos, las revoluciones por minuto se encuentran entre 150 rpm y 177 rpm, por lo que una media serían unas 165 rpm, tomándose este valor como estimación.

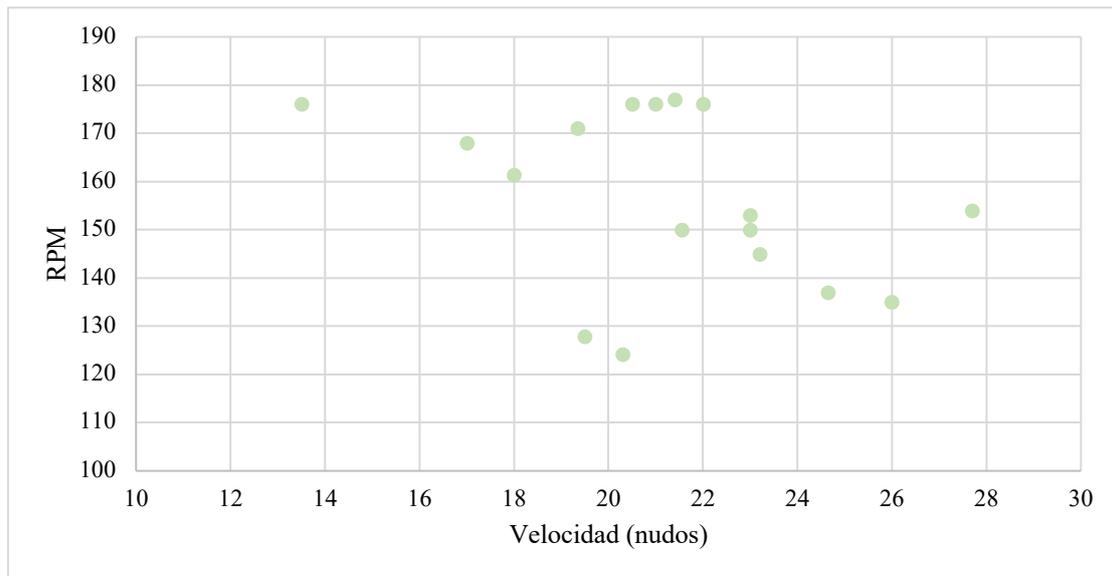


Figura 6.11. Curva de potencia frente a rpm

Los datos utilizados serán, los siguientes:

- N = 165 rpm
- B = 25 m
- T = 6,6 m
- Lpp = 152,4 m
- C_B = 0,661

1. Fórmula del Canal de El Pardo

$$\mu_D = 0,943 - 0,000187N\sqrt{L_{pp}} - 0,023\frac{B}{T} - 0,2C_B - 0,00013NC_B\sqrt{L_{pp}} \quad (7)$$

Siendo,

- N = revoluciones por minuto del propulsor
- B = manga (m)
- T = calado (m)
- Lpp = eslora (m)
- C_B = coeficiente de bloque

$$\begin{aligned} \mu_D &= 0,943 - 0,000187 \cdot 165\sqrt{152,4} - 0,023\frac{25}{6,6} - 0,2 \cdot 0,661 - 0,00013 \cdot 165 \\ &\quad \cdot 0,661\sqrt{152,4} = 0,692 \end{aligned}$$

2. Fórmula de Lap

$$\mu_D = 0,885 - 0,00012N\sqrt{Lpp} \quad (8)$$

$$\mu_D = 0,885 - 0,00012 \cdot 165\sqrt{152.4} = 0,641$$

Siendo,

N = revoluciones por minuto del propulsor.

Lpp = eslora entre perpendiculares (m)

3. Fórmula de Parga

$$\mu_D = 0,84 - \frac{N\sqrt{Lpp}}{18000} \frac{\left(\frac{V}{C_B}\right)^2}{24000} \quad (9)$$

$$\mu_D = 0,84 - \frac{165\sqrt{152.4}}{18000} \frac{\left(\frac{22}{\frac{1,852}{0,661}}\right)^2}{24000} = 0,740$$

Siendo,

N = revoluciones por minuto del propulsor.

Lpp = eslora entre perpendiculares, en pies.

V = velocidad, en nudos.

Una vez que se han obtenido los valores del rendimiento cuasi-propulsivo mediante las tres fórmulas, indicados en la Tabla 6.15, se realiza una media para estimar este rendimiento, que tendrá el valor de 0,691.

Tabla 6.15. Rendimiento cuasi-propulsivo por diferentes métodos

Fórmula del Canal de El Pardo	0,692
Fórmula de Lap	0,641
Fórmula de Parga	0,740

$$\mu_D = 0,691$$

6.2.8. Cálculo de la potencia a entregar por el motor

Para poder calcular la potencia que debe generar el motor o motores, se debe conocer el rendimiento mecánico, generalmente este rendimiento se puede estimar en 0,98, por lo tanto, el rendimiento propulsivo calculado será según la expresión (10).

$$BHP = \frac{EHP}{K_P \cdot \mu_P} = \frac{EHP}{K_P \cdot \mu_D \cdot \mu_M} \quad (10)$$

$$BHP = \frac{EHP}{K_S \cdot \mu_D \cdot \mu_M} = \frac{Rt \cdot V}{K_S \cdot \mu_D \cdot \mu_M} = \frac{Rt \cdot V}{0,85 \cdot 0,691 \cdot 0,98} = \frac{Rt \cdot V}{0,576}$$

Conocida la fórmula a aplicar según los rendimientos y K_P , se obtienen los datos de BHP para diferentes velocidades, incluidas en la Tabla 6.16, y se representan en la Figura 6.12.

Tabla 6.16. Datos obtenidos BHP

V (kn)	Rt (kN)	EHP (kW)	BHP (kW)
11,00	180,00	1198,47	2080,68
11,55	198,10	1384,95	2404,43
12,10	217,40	1592,02	2763,91
12,65	238,00	1821,85	3162,93
13,20	260,00	2076,99	3605,88
13,75	283,60	2360,32	4097,78
14,30	309,10	2675,15	4644,36
14,85	336,60	3024,97	5251,68
15,40	366,30	3413,65	5926,47
15,95	398,50	3846,43	6677,82
16,50	433,50	4329,29	7516,14
17,05	471,50	4865,63	8447,27
17,60	512,10	5454,66	9469,90
18,15	555,00	6096,83	10584,77
18,70	601,00	6802,28	11809,51
19,25	651,80	7593,59	13183,32
19,80	709,30	8499,77	14756,54
20,35	775,00	9544,68	16570,62
20,90	848,60	10734,28	18635,90
21,45	928,00	12047,65	20916,07
22,00	1009,30	13438,76	23331,19

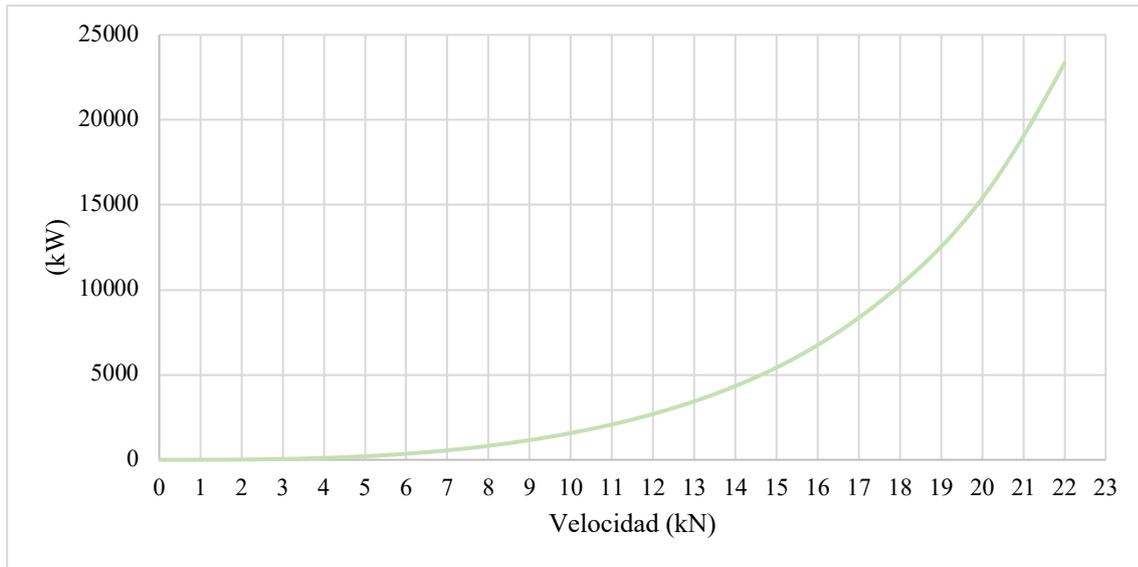


Figura 6.12. Curva de potencia frente a velocidad

Según lo calculado, para una velocidad de 22 nudos se estima una potencia necesaria de aproximadamente 23350 kW.

6.3. Estimación de la potencia a instalar en la configuración de línea de ejes

Se va a estimar la potencia necesaria si se utiliza una propulsión por línea de ejes, lo cual afectará a la potencia estimada de propulsión debido a que se debe instalar uno o dos timones con su hélice correspondiente, por lo que se deberá realizar el cálculo del timón en primer lugar.

Teniendo en cuenta que este tipo de buques demandan gran maniobrabilidad, se planteará la posibilidad de instalar dos hélices con dos timones, de esta forma también se puede evitar la cavitación en caso de que sea necesario.

6.3.1. Cálculo del timón

Como se ha indicado anteriormente, el apéndice a calcular en este proyecto será el timón, en base a los apuntes de la asignatura de hidrodinámica, (Apuntes hidrodinámica, 2020), se elegirá un timón colgado o suspendido, ya que se complica la colocación de apoyos en el codaste por la peculiaridad de la popa, debido a transportar carga rodada y disponer de una rampa en la popa para la carga y descarga.

6.3.1.1. Superficie de la pala del timón

Según el Reglamento Det Norske Veritas (DNV), para buques de carga normales, se puede calcular el área del timón A_T de la siguiente forma:

Siendo f para timones colgados, apoyados o Simplex, 1,1.

$$A_T/2 = \frac{L \times T}{100} \left(f + 25 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right) = \frac{152,4 \times 6,6}{200} \left(1,1 + 25 \left(\frac{25}{152,4} \right)^2 \right) = 8,92 \text{ m}^2$$

La fuerza F_N es la que actúa sobre el timón debido a la presión del agua sobre la pala, y es directamente proporcional a la superficie de la pala sobre la que actúa la presión del agua. Por otra parte, al giro del buque se opone un par hidrodinámico debido a la resistencia del agua, que es función, entre otras variables a la superficie de deriva, $L \times T$, sobre la que actúa la resistencia, siendo L la eslora del buque y T el calado.

6.3.1.2. Relación de compensación

La relación del área de la pala a popa de la mecha con la de a proa de la mecha, esta se puede estimar con algunas tablas de relaciones que proponen algunos autores. El buque proyecto tiene un coeficiente de bloque de 0,661, por lo que se va a calcular por los métodos de Fujii y otros autores, siguiendo los apuntes de hidrodinámica, (Apuntes hidrodinámica, 2020).

Fujii recomienda los valores de la compensación de la Tabla 6.17, derivados de ensayos con modelos:

Tabla 6.17. Relación de compensación para distintos coeficientes de bloque.

Coeficiente de bloque	Relación de compensación
0,6	0,250 – 0,255
0,7	0,260 – 0,265
0,8	0,265 – 0,270

Si se estima una relación de 0,26, $A_{PR} = 0,26 \cdot (2 \cdot 8,92) = 4,63 \text{ m}^2$

Otros autores también ofrecen tablas para estimar la relación de compensación, Tabla 6.18.

Tabla 6.18. Relación de compensación para distintos tipos de buque

	Relación de compensación
Timón compensado, grandes buques	32%
Timón compensado normal para embarcaciones	25%
Timón semi-compensado para embarcaciones	20%
Timón compensado para lanchas rápidas	16%
Timón compensado para buques costeros	21%

Conociendo que el coeficiente del buque es de 0,661, se puede estimar que la relación debería estar entre 25% - 26%, y según la Tabla 6.18 para buques con el timón compensado o semi-compensado, estaría entre 20% - 25%, se puede estimar una relación de 25,5%, bastante similar a la 0,26 estimada en el método de Fujii.

$$A_{PR} = 0,255 \cdot (2 \cdot 8,92) = 4,55 \text{ m}^2$$

Haciendo una media de los dos valores obtenidos, se puede definir el área total de proa del timón de 4,60 m², como son dos, de 2,30 m² cada timón.

6.3.1.3. Relación de alargamiento o aspecto

Para calcular la relación de aspecto se debe conocer el valor de la altura del timón (h) y la cuerda media (c).

Se puede tomar como valores orientativos los indicados en la Tabla 6.19.

Tabla 6.19. Valores estimados de la relación de aspecto

	h/c
Buques de carga o pasaje, una hélice	1,7 – 1,9
Costeros con timón compensado, una hélice	1,1 – 1,3
Remolcadores y similares, una hélice	1,7 – 1,9
Timón semi compensado, dos hélices	1,0 – 1,2
Dos timones, dos hélices	2,0 – 2,5

Según la Tabla 6.19, si en el buque proyecto se van a instalar dos hélices, se deberá disponer de dos timones, por lo que h/c, según la tabla, estará entre 2,0 – 2,5.

Según los apuntes de la asignatura de Proyectos, (Apuntes proyectos, 2020), se calcula la relación de alargamiento según el valor del coeficiente de bloque, en función a la Tabla 6.20.

Tabla 6.20. Proyección del timón según el coef. bloque

C _B	< 0,75	> 0,75
El timón se proyecta según:	Diámetro de giro	Estabilidad de ruta.
Después se comprueba que cumple:	Estabilidad de ruta. Cambio de rumbo.	Diámetro de giro. Cambio de rumbo.

Siendo el coeficiente de bloque menor a 0,75, el timón se proyecta según el diámetro de giro, por lo que la relación de aspecto estará entre 1,4 – 2,0.

Si se calcula según estabilidad de ruta, $h = 0,86 H$ y, conocida el área del timón, se tiene la cuerda y el coeficiente de aspecto (λ). Si $\lambda < 1,4$ es evidente que h es demasiado pequeño y conviene rehacer el codaste.

Si se fija $h = 0,86 H$, (siendo H la altura de la mecha del timón). Según el diseño exportado de Maxurf a Rhinoceros, se obtiene la altura aproximada de la mecha del timón, siendo esta de 5,13 m, Figura 6.13, obteniendo así un valor de la cuerda que se calcula a continuación, junto con la altura del timón.

$$H = 5 \text{ m .}$$

$$h = 0,86 \cdot 5 = 4,30 \text{ m .}$$

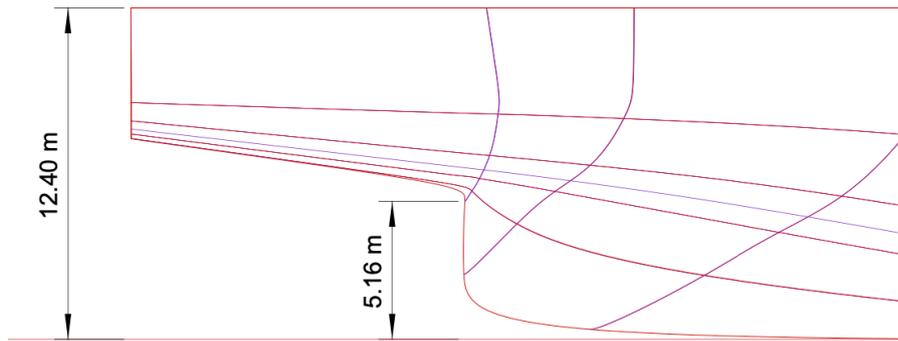


Figura 6.13. Proyección del timón según el coef. Bloque. Acotado puntal.
Fuente: Diseño Rinhoceros

Conociendo la altura y el área se puede calcular la cuerda del timón,

$$c = \frac{At}{h} = \frac{8,92}{4,30} = 2,07 \text{ m}$$

Se obtiene con esta altura una relación de aspecto $> 2,0$, por lo que, queda fuera del rango $1,4 - 2,0$. De tal forma que se reduce la altura de la mecha del timón a $4,8 \text{ m}$, para cumplir con el rango.

$$h = 0,86 \cdot 4,8 = 4,13 \text{ m}$$

$$c = \frac{At}{h} = \frac{8,92}{4,13} = 2,16 \text{ m}$$

Obteniendo así una relación de aspecto de $1,91$, dentro del margen.

Calculados estos valores, ya se puede conocer la longitud media de compensación siendo,

$$L = \frac{A_{PR}}{h} = \frac{2,3}{4,13} = 0,56 \text{ m}$$

6.3.1.4. Relación de espesor

El perfil del timón debe tener una geometría que favorezca el reparto de presiones, de tal forma que, el centro de estas no se mueva en exceso con el aumento del ángulo del timón. En este caso se usará un perfil tipo NACA. Para conocer la clase de perfil NACA a instalar, se hará en función a la relación t/c óptima en función a lo indicado en los apuntes de proyectos, (Apuntes proyectos, 2020), donde se confirma que en los perfiles NACA las relaciones de espesor más favorables para el proyecto, en la mayor parte de los casos, son $0,12$, $0,15$ y $0,18$. Para ello entre los márgenes citados, se selecciona el de rango intermedio, $0,15$, por lo que el perfil instalado será NACA0015, se representa en la Figura 6.14.



NACA 0015

Figura 6.14. Perfil timón NACA 0015
Apuntes hidrodinámica (2020)

6.3.1.5. Cálculo de la fuerza del timón

Conociendo las características geométricas del timón, se procede al cálculo de las fuerzas y par tursor que actúan sobre la pala del timón por la acción del agua sobre él cuando se mete el timón a cada banda. Siguiendo lo estipulado por Bureau Veritas, se deben cumplir las siguientes características:

- El servo timón tiene que ser capaz de meter el timón de una banda a 35° a la otra banda a 35° con el buque a máximo calado y a la máxima velocidad de servicio.
- El servo tiene que ser capaz de meter el timón de una banda a 35° a la otra a 30° en no más de 28 segundos.

La distancia desde el borde de ataque al centro de presiones se estima mediante la expresión (11). Realizando el cálculo a 35°, según lo indicado por el SOLAS. Los resultados están incluidos en la Tabla 6.21.

$$D = (0,2 + 0,3 \cdot \text{sen}(\alpha)) \cdot c \quad (11)$$

Tabla 6.21. Resultado distancia eje de presión

α (°)	c (m)	D (m)
35	2,16	0,804

Se calcula también la distancia del centro de presión al eje en marcha avante, resultados en la Tabla 6.22.

$$D_{avante} = D - L \quad (12)$$

Tabla 6.22. Resultados distancia avante

D (m)	L (m)	D_{avante} (m)
0,804	0,56	0,244

Se calcula la distancia del centro de presión al eje ciando, resultados en la Tabla 6.25.

$$D_{ciando} = (c - D) - L \quad (13)$$

Tabla 6.23. Resultados distancia ciando

c (m)	D (m)	L (m)	D_{ciando} (m)
2,16	0,804	0,56	0,796

La fuerza sobre el timón se calcula aplicando la fórmula de Joëssel, teniendo en cuenta que para la velocidad de ciando se tomará la mitad de la velocidad de avance.

$$F_{ciando} = \frac{41,35 \cdot A_T \cdot \left(\frac{V}{2}\right)^2 \cdot \text{sen}(\alpha)}{0,2 + 0,3 \cdot \text{sen}(\alpha)} \quad (14)$$

$$F_{avante} = \frac{41,35 \cdot A_T \cdot V^2 \cdot \text{sen}(\alpha)}{0,2 + 0,3 \cdot \text{sen}(\alpha)} \quad (15)$$

Los resultados están incluidos en la Tabla 6.24.

Tabla 6.24. Resultados cálculos de las fórmulas anteriores

A_T (m ²)	V (kn)	α (°)	F_{avante} (t)	F_{ciando} (t)
8,92	22	35	72,707	18,177

6.3.1.6. Cálculo del par del timón

Este par torsor se calcula tanto para avance como ciando con las siguientes fórmulas, los resultados están incluidos en la Tabla 6.25.

$$Q_{avante} = F_{avante} \cdot D_{avante} \quad (16)$$

$$Q_{ciando} = F_{ciando} \cdot D_{ciando} \quad (17)$$

Tabla 6.25. Resultados cálculos del par torsor

F_{avante} (t)	F_{ciando} (t)	D_{avante} (m)	D_{ciando} (m)	Q_{avante} (Tm)	Q_{ciando} (t·m)
72,707	18,177	0,244	0,796	17,741	14,469

Calculados estos valores, el par torsor de diseño se obtendrá de multiplicar el mayor valor obtenido por el factor de seguridad 1,3, es decir, sobredimensionándolo un 30%.

$$Q_{torsor} = Q_{avante} \cdot 1,3 = 23,063 \text{ t} \cdot \text{m}$$

6.3.2. Selección de la hélice óptima

Para que la hélice calculada sea la óptima, deberá cumplir con los siguientes criterios:

1. Debe proporcionar un empuje suficiente para que el buque pueda alcanzar la velocidad de proyecto con el mayor rendimiento posible.
2. No debe haber cavitación o debe mantenerse en límites.

Hay dos métodos por los que se puede calcular el proyecto de una hélice, por series sistemáticas o por la teoría de circulación, aunque el más utilizado y el que se aplica en este estudio será por series sistemáticas, este método se basa en un conjunto de formas geométricas que se conoce que tienen un buen rendimiento y un aceptable comportamiento para la cavitación. Por ello, se selecciona la hélice mediante la Serie B de Wageningen, como se ha indicado anteriormente, por ser la más utilizada, con el apoyo del trabajo realizado en hidrodinámica, (Apuntes hidrodinámica, 2020).

Para el cálculo del diámetro óptimo de la hélice, se deberá tener en cuenta que las Sociedades de Clasificación no aconsejan un diámetro mayor al 77% del calado de proyecto, para evitar condiciones de carga que puedan no sumergir del todo la hélice.

El diámetro mínimo de la hélice se encontrará entre el siguiente rango (19).

$$D_{min} = 0,7T - 0,77T \quad (19)$$

Conocido el calado con un valor de 6,6 m, el diámetro mínimo estará entre 4,62 m y 5,08 m. A su vez, el diámetro máximo estará limitado por la configuración del buque, es decir, al puntal del codaste, siendo este valor de 5,13 m.

Como ya se estimó anteriormente, las revoluciones consideradas en función a los buques de similares características oscilan entre 150 y 177 rpm. Se estimará una rugosidad del propulsor de 30 micras, y un rendimiento mecánico de la línea de ejes, de 0,98. Valores representados en la Tabla 6.26.

Tabla 6.26. Datos para los cálculos de la hélice

rpm	Z	Rugosidad (μm)	μ_m	V (kn)	D_{min} (m)	$D_{m\acute{a}x}$ (m)
150 - 177	5	30	0,98	19	4,62 – 5,08	5

Para calcular el área disco mínima para que no exista cavitación en la hélice se conoce que buques de las características que tiene un Ferry se están equipando con hélices de 5 palas, por lo que se realizarán los cálculos para 5 palas. Con el empuje calculado para la velocidad de 22 nudos, 129887,96 kg, se calcula el valor mínimo de área disco (A_E/A_0) para que no cavite, el cual se calcula con la fórmula (18), teniendo en cuenta que el diámetro máximo será de 5,13 m, obteniéndose un valor de 0,92. Con este valor obtenido, se realizarán los cálculos con la relación área disco de 1,05, la inmediatamente superior y que, si está dentro de los valores aceptables, según la Figura 6.15.

$$\left(\frac{A_E}{A_0}\right)_{MIN} = \frac{(1,3 + 0,3Z)T}{(P_0 - P_v)D^2} + 0,2 \quad (18)$$

Nº de palas	2	3	4	5	6	7
Relación A_E/A_0	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
	0,38	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
		0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
		0,80	0,85	0,90	0,95	
			1,00	1,05		

Figura 6.16. Estimación área disco en función de número de palas
Fuente: Apuntes hidrodinámica (2020)

Para realizar esta primera aproximación de la hélice, se necesita conocer el coeficiente de estela y seleccionar los motores propulsores.

El coeficiente de estela se ha calculado de forma aproximada con la ayuda de los cálculos de Holtrop Manual, con la fórmula (20), obteniendo un valor de 0,284.

$$w = c_9 c_{20} C_v \frac{L}{T_A} \left(0.050776 + 0.93405 c_{11} \frac{C_v}{(1 - C_{p1})} \right) + 0.27915 c_{20} \sqrt{\frac{B}{L(1 - C_p)}} + c_{19} c_{20} \quad (20)$$

6.3.2.1. Estimación de la configuración de los motores diésel

En esta primera configuración se disponen 2 motores diésel, para estimar si es viable esta configuración.

- MOTOR DIÉSEL - MAN 12V48/60

Para una primera aproximación se selecciona un motor MAN diésel de 12411 kW. Se utilizarán los datos numéricos de la serie B de Wageningen para 5 palas y una relación área disco de 1,05, como se ha calculado previamente en la Tabla 6.15, para calcular el rendimiento propulsivo, y una vez obtenido este, calcular la potencia disponible.

Se realizan los cálculos mostrados en la Tabla 6.27, para la obtención del rendimiento propulsivo, μ_p . Con este rendimiento, se puede estimar la potencia necesaria para 22 nudos.

Tabla 6.27. Cálculos para el rendimiento propulsivo

Bp	Ae/Ao	δ opt.	Dopt. (m)	Dopt/10	δ_{max}	P/D	η_o	DHP _{wag} (CV)	T (kgf)	(Ae/Ao) _{min}	η_p	η_d
29,964	1,05	59,49	5,74	0,57	62,19	0,84	0,54	24325,56	81080,53	0,88	0,59	0,60

La potencia necesaria de la Tabla 6.28 se obtiene entonces de los EHP calculados en la Tabla 6.16, el factor de utilización k_p y el rendimiento propulsivo de la Tabla 6.27.

Tabla 6.28. Primera aproximación cálculos de margen 2 motores diésel

BHP necesario	BHP disponible	Margen
25344,481 CV	29958,160 CV	15,40 %

Con los datos obtenidos en la Tabla 6.28, se puede verificar que instalando estos 2 motores se cumpliría la potencia necesaria, pero se estaría sobredimensionando los motores, por lo tanto, se va a realizar una segunda aproximación seleccionando motores que liberen un poco menos de potencia.

Hay que considerar que es de la gama de motores lentos MAN, un motor que libere unos 20000 kW tendría una dimensión de 17 m de puntal, Figura 6.16, lo que no tendría ningún sentido en el buque proyecto, puesto que disponemos de 12,4 m de puntal.

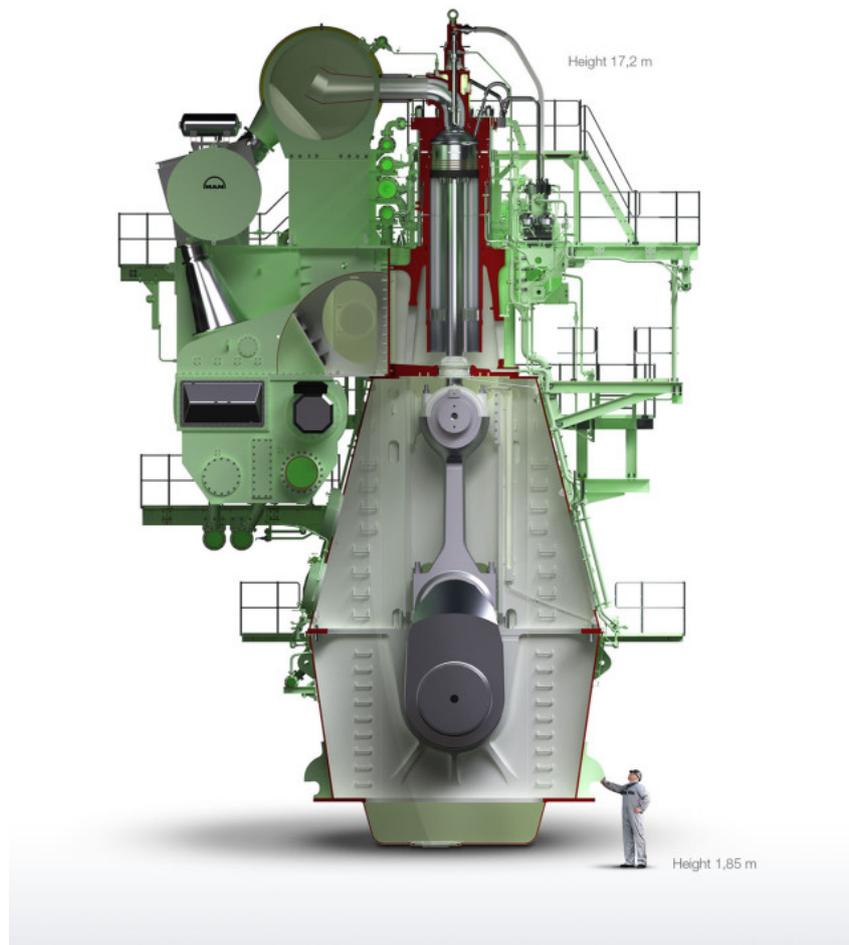


Figura 6.16. Ficha técnica motor MAN 12S90ME-C
Fuente: MAN

Se debe tener en cuenta que este último cálculo ha sido con un motor lento, y hay que comparar con motores semi-rápidos, por lo tanto, se realiza una nueva aproximación con una disposición de 2 motores instalados semi-rápidos.

- **MOTOR DIÉSEL - Wärtsilä 9L46F**

Se hará en este caso una estimación con el motor Wärtsilä 9L46F, de 10800 kW de potencia, Figura 6. 17 y 7.18.

Wärtsilä 9L46F

Wärtsilä 9L46F		ME CPP Variable Speed	ME CPP Con- stant Speed	DE DE Constant Speed
Cylinder output	kW	1200	1200	1200
Engine speed	rpm	600	600	600
Engine output	kW	10800	10800	10800
Mean effective pressure	MPa	2.49	2.49	2.49
Combustion air system (Note 1)				
Flow at 100% load	kg/s	18.9	18.9	18.9
Temperature at turbocharger intake, max. (TE 600)	°C	45	45	45
Temperature after air cooler, nom. (TE 601)	°C	50	50	50

Figura 6.17. Ficha técnica motor dimensiones Wärtsilä 9L46F
Fuente: Wärtsilä (2020)

Dimensions (mm) and weights (tonnes)						
Engine type	A*	A	B	C	F	Weight
6L46F	8 470	8 620	3 500	2 905	1 480	97
7L46F	9 435	9 440	3 800	3 130	1 480	113
8L46F	10 255	10 260	3 800	3 130	1 480	124
9L46F	11 075	11 080	3 800	3 130	1 480	140
12V46F	10 950	10 280	3 770	4 050	1 820	177
14V46F	11 650	11 729	4 243	4 678	1 820	216
16V46F	12 700	12 880	4 243	4 678	1 820	233

* Turbocharger at flywheel end.

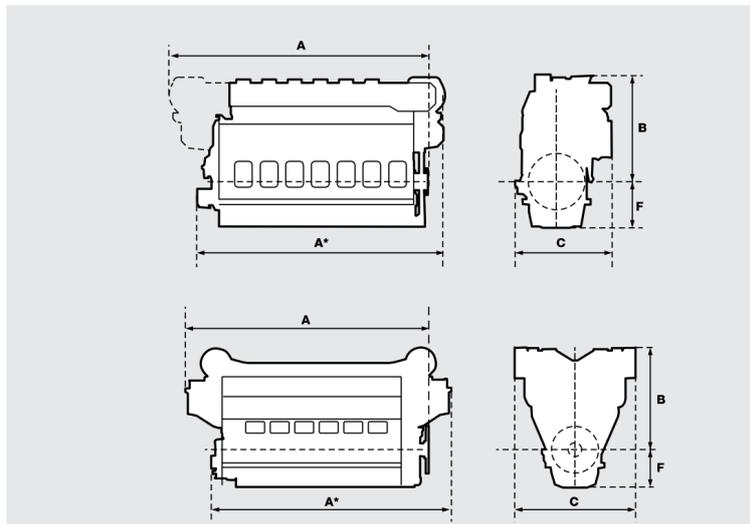


Figura 6.18. Dimensiones motor Wärtsilä 12V64
Fuente: Wärtsilä (2020)

Se realizan los cálculos mostrados en la Tabla 6.29, para la obtención del rendimiento propulsivo, μ_p .

Tabla 6.29. Cálculos para el rendimiento propulsivo

Bp	Ae/Ao	δ opt.	Dopt. (m)	Dopt/10	δ_{max}	P/D	η_o	DHPwag (CV)	T (kgf)	(Ae/Ao)min	η_p	η_d
27,952	1,05	57,75	5,57	0,56	62,19	0,85	0,54	21168,00	71741,43	0,84	0,60	0,61

La potencia necesaria de la Tabla 6.30 se obtiene entonces de los EHP calculados en la Tabla 6.16, el factor de utilización k_p y el rendimiento propulsivo de la Tabla 6.29.

Tabla 6.30. Primera configuración cálculos de margen 2 motores diésel

BHP necesario	BHP disponible	Margen
24925,673 CV	26069,465 CV	4,39 %

Con un margen de 4,39 %, se puede considerar aceptable y tomar como motor diésel el Wärtsilä 9L46F para el buque base con línea de ejes.

Según la Tabla 6.30, el diámetro óptimo es mayor del máximo establecido anteriormente como 5,13 m, por lo que se van a realizar los cálculos de nuevo reduciendo este diámetro un 8%, quedando, así como el diámetro máximo.

Con este cambio, los datos obtenidos finalmente son los de la Tabla 6.31, que se consideran aceptables porque no hay cavitación.

Tabla 6.31. Cálculos para el rendimiento propulsivo

Bp	Ae/Ao	δ opt.	Dopt. (m)	Dopt/10	δ_{max}	P/D	η_o	DHPwag (CV)	T (kgf)	(Ae/Ao)min	η_p	η_d
27,952	1,05	57,75	5,13	0,51	62,19	0,85	0,54	21168,00	71741,43	0,96	0,60	0,61

6.3.2.2. Estimación de la configuración de los motores dual fuel

Tomando como base los resultados obtenidos en el cálculo del motor diésel, se selecciona directamente un motor dual fuel de 10800 kW, el MakMed 12M46DF, Figura 6.19, el cual libera exactamente la misma potencia que el seleccionado para diésel, lo cual facilita los cálculos, ya que, si la potencia liberada es la misma, no debe influir que el combustible utilizado sea diésel o GNL.

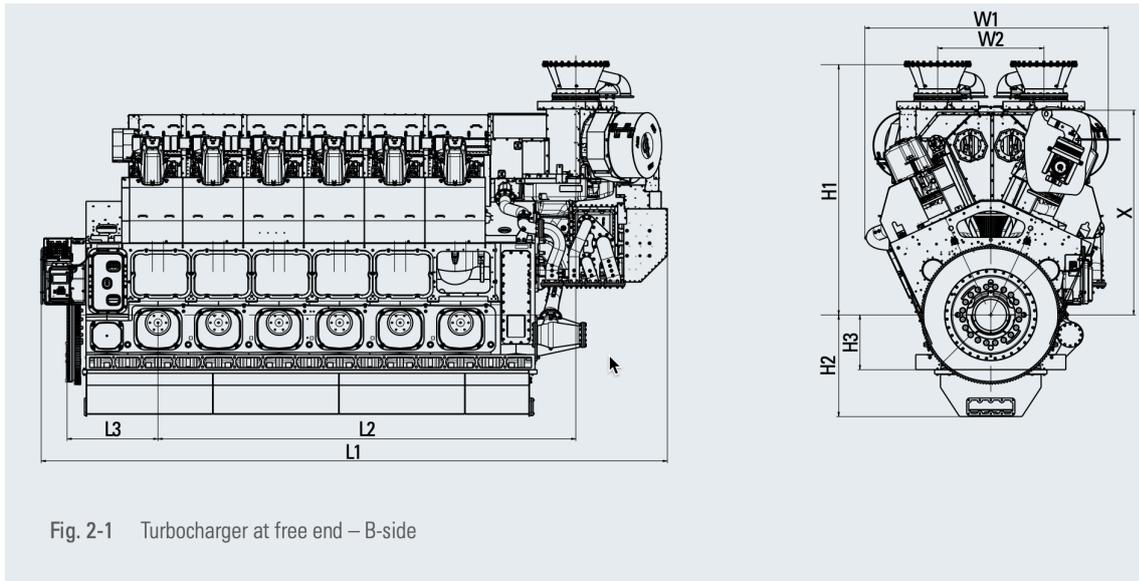


Fig. 2-1 Turbocharger at free end – B-side

Type	Dimensions [mm]							Weight	
	L1	L2	L3	H1	H2	H3	W1	W2	[t]
12 M 46 DF	9,930	6,628	1,440	4,000	1,625	875	3,860	1,685	160.0

Figura 6.19. Dimensiones motor MakMed 12M46DF
Fuente: Mak (2023)

Especificaciones de los motores

Gama de velocidad	500/514 rpm
Emisiones	IMO II en modalidad diésel/IMO III en modalidad gas
Rotación del extremo del volante	Hacia la izquierda/derecha
Configuración	12, 16 cilindros
Volumen de barrido	6181.7 pulg ³

Figura 6.20. Especificaciones del motor MakMed 12M46DF
Fuente: Mak (2023)

Como se ha indicado, siendo la potencia del motor es exactamente la misma que el motor diésel, los datos obtenidos serán los mismos de la Tabla 6.30 y 6.31, se representa en la Tabla 6.32.

Tabla 6.32. Aproximación cálculos de margen 4 motores DF

BHP necesario	BHP disponible	Margen
24925,673 CV	26069,465 CV	4,39%

6.3.3. Análisis datos obtenidos propulsión por línea de ejes

Se obtienen como favorables las siguientes configuraciones de motores de las Tablas 6.33 y 6.34, que se compararán con el buque proyecto para confirmar que su instalación sería posible.

MOTOR DIÉSEL - Wärtsilä 9L46F

Tabla 6.33. Dimensiones motor diésel seleccionado

Nº Motores	H (mm)	B (mm)	L (mm)
2	5280	3130	11080

MOTOR DUAL FUEL – MakMed 12M46DF

Tabla 6.34. Dimensiones motor DF seleccionado

Nº Motores	H (mm)	B (mm)	L (mm)
2	5625	3860	9930

Teniendo en cuenta que las dimensiones del buque son 152,40 m de eslora, 25 m de manga y 12,4 m de puntal, a priori es posible su instalación, aunque más adelante se hará una estimación de las dimensiones de cámara de máquinas para comprobar que es viable.

6.4. Estimación de la potencia propulsora con pods

En este apartado se va a calcular la potencia propulsora si esta fuera por pods, aunque previo a los cálculos ya hay algunas ventajas obtenidas si se utiliza esta forma de propulsión frente a los ejes convencionales. Una ventaja sería que eliminaríamos la reductora de dos entradas, esto simplificaría la cámara de máquinas, montando los motores únicamente para la generación de energía, ya que los motores que utilizan los pods son eléctricos y se sitúan fuera de la cámara de máquinas, tal y como se ha detallado en el apartado 5.2.

En el caso de los pods, en un principio se va a mantener la misma velocidad de 22 nudos, por lo tanto, para esta velocidad, los EHP calculados son 13438,76 kW, teniendo en cuenta que para mejor maniobrabilidad se instalarían 2 pods, cada uno debería entregar 6719,38 kW.

Al tener una propulsión eléctrica, se calculan los BHP y MCR con los rendimientos de la hélice, eje, motor eléctrico, red eléctrica y alternador, y teniendo en cuenta el régimen de funcionamiento del motor, que se estimará en un 85%, se calcula la potencia que debería entregar el motor, al igual que se ha estimado para la línea de ejes.

Los MCR se diferencia de BHP en que la primera se centra en la capacidad de operación continua, mientras que la potencia BHP se refiere a la potencia medida directamente en el eje del motor. Para este cálculo se estima un rendimiento del alternador de 0,94, rendimiento de la red eléctrica de 0,98, rendimiento del motor eléctrico de 0,96, y rendimiento del eje y hélice de 0,62. Se calcula entonces el rendimiento propulsivo eléctrico como el producto de todos los rendimientos anteriores, obteniendo así un valor de 0,55.

Para calcular la potencia BHP y MCR, se utilizan las fórmulas (21) y (22).

$$BHP = \frac{EHP}{\mu_{pe}} = \frac{13438.76}{0.55} = 24509,95 \text{ kW} \quad (21)$$

$$MCR = \frac{BHP}{0.85} = \frac{24434.11}{0.85} = 28835,23 \text{ kW} \quad (22)$$

Se investiga si existe en el mercado soluciones de pods con potencias del orden de 15 MW y qué dimensiones pueden tener, por confirmar que la solución es realista para una velocidad de 22 nudos.

Como se puede observar en la Figura 6.21, es totalmente lícito utilizar un POD con hasta 17 MW, teniendo este un diámetro de 6 m, lo cual no dista mucho del diámetro máximo seleccionado en el cálculo de la propulsión por línea de ejes. En este caso, se deberá comprobar también que las hélices no caviten con las dimensiones y potencia instalada.

SEAJET POD (7.5 MW and 15 MW)

Technical Specifications

	SEAJET POD 1800	SEAJET POD 2300	SEAJET POD 2700
Power Range (MW)	5 to 8	9 to 11	12 to 17
Rated Shaft Speed (rpm)	156	120	108
Propeller Diameter (m)	4.300	5.60	6.00
Weight (T)	140	230	270

Figura 6.21. Especificaciones técnicas pods
Fuente: GE Power Conversion (2021)

6.4.1. Cálculo planta de generación eléctrica de energía con dual fuel

En el caso de una configuración con pods, la disposición y número de motores no tiene por qué ser el mismo que en las soluciones anteriores, por lo tanto, se va a estimar la solución de dos motores dual fuel con mayor potencia, ya que en este caso la potencia necesaria es de 28835,23 kW, para ello se selecciona el motor MAN 51/60DF, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en la Figura 6.22.

MAN 51/60DF

High efficiency and high power

Dimensions

Cyl. No.	6L		12V		18V	
L	8,464 mm	333.2 in	9,970 mm	392.5 in	13,489 mm	531.1 in
			10,134 mm	399.0 in		
H	5,807 mm	228.6 in	6,450 mm	253.9 in	6,450 mm	253.9 in
W	3,156 mm	124.3 in	4,884 mm	192.3 in	4,884 mm	192.3 in
Engine weight	171.6 t	378,313 lb	293.8 t	647,718 lb	416.8 t	918,887 lb
			297.6 t	656,095 lb		

Output

Cyl. No.	6L		12V		18V		
Output mech.	kW	6,300	6,900	12,600	13,800	18,900	20,700
Speed	rpm	500/514	500/514	500/514	500/514	500/514	500/514
Frequency	Hz	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60

Figura 6.22. Especificaciones del motor MAN 51/60DF

Fuente: MAN (2020)

Siendo las dimensiones del motor las de la Tabla 6.35.

Tabla 6.35. Dimensiones motor DF seleccionado

H (mm)	B (mm)	L (mm)
5517	4713	10254

Se realizan los cálculos mostrados en la Tabla 6.36, donde se puede observar que el diámetro óptimo es de 5,76 m y según el área disco mínimo, no cavitaria.

Tabla 6.36. Cálculos para el rendimiento propulsivo

Bp	Ae/Ao	δ opt.	Dopt. (m)	Dopt/10	δ max	P/D	η_o	DHPwag (CV)	T (kgf)	(Ae/Ao)min	η_p	η_d
30,192	1,05	59,68	5,76	0,58	62,19	0,84	0,53	24696	82164,20	0,89	0,59	0,61

Se obtiene entonces la potencia y margen de la Tabla 6.38. Siendo el margen asumible.

Tabla 6.38. Segunda aproximación cálculos de margen 2 motores dual fuel

MCR necesario	BHP disponible	Margen
28835,23 CV	30414,376 CV	5,19%

6.4.2. Cálculo planta de generación eléctrica de energía con diésel

Para realizar una comparación lo más objetiva posible se va a estimar el motor diésel que dispondría el buque base sin remotorizar. Para ello se ha seleccionado el motor 6L64 de la marca Wärtsilä, Figura 6.23.

Rated power		
Engine type	327.3, 333.3 rpm	
	2 150 kW/cyl	
	kW	bhp
6L64	12 900	17 540
7L64	15 050	20 460
8L64	17 200	23 390

Dimensions (mm) and weights (tonnes)							
Engine type	A*	A	B	C	D	F	Weight
6L64	10 250	10 470	4 355	4 170	5 345	1 905	237
7L64	11 300	11 620	4 465	4 165	5 345	1 905	269
8L64	12 350	12 740	4 465	4 165	5 345	1 905	297

* Turbocharger at flywheel end.
For definitions see page 53.

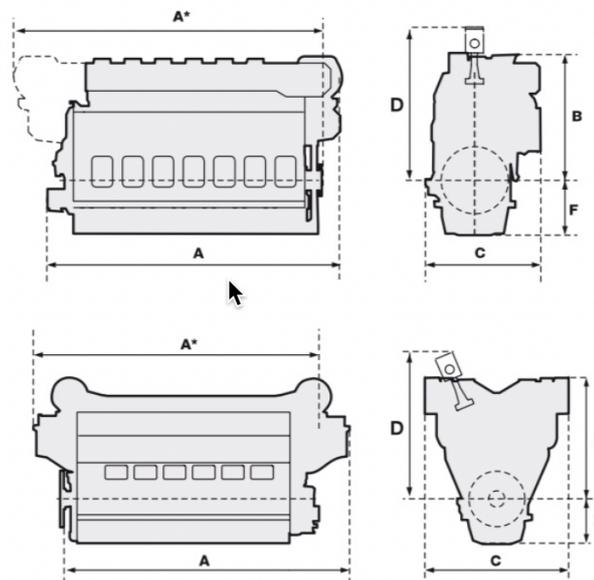


Figura 6.23. Especificaciones del motor Wärtsilä 6L64
Fuente: Wärtsilä (2007)

Siendo las dimensiones del motor las de la Tabla 6.39.

Tabla 6.39. Dimensiones motor diésel seleccionado

H (mm)	B (mm)	L (mm)
6260	4170	10250

Se realizan los cálculos mostrados en la Tabla 6.40, donde se puede observar que el diámetro óptimo es de 5,76 m y según el área disco mínimo, no cavitaría.

Tabla 6.40. Cálculos para el rendimiento propulsivo

Bp	Ae/Ao	δ opt.	Dopt. (m)	Dopt/10	δ_{max}	P/D	η_o	DHPwag (CV)	T (kgf)	(Ae/Ao)min	η_p	η_d
30,549	1,05	59,98	5,79	0,58	62,19	0,84	0,53	25284,00	83879,48	0,89	0,59	0,60

Se obtiene entonces la potencia y margen de la Tabla 6.41. Siendo el margen asumible.

Tabla 6.41. Primera aproximación cálculos de margen 2 motores diésel

MCR necesario	BHP disponible	Margen
28835,23 CV	31138,528 CV	7,40%

Aunque se ha estimado un diámetro máximo de la hélice de 5,13 m, esto puede variar con la disposición de 2 hélices, ya que en crujía el espacio es más restrictivo que en los costados. Como si se dispone de las formas del buque, se obtiene el diámetro máximo en los costados de 6,65 m, como se puede observar acotado en la Figura 6.24, este es superior al calculado en la Tabla 6.40, por lo que se darían por válidos los cálculos, a falta de conocer la separación mínima entre los pods.

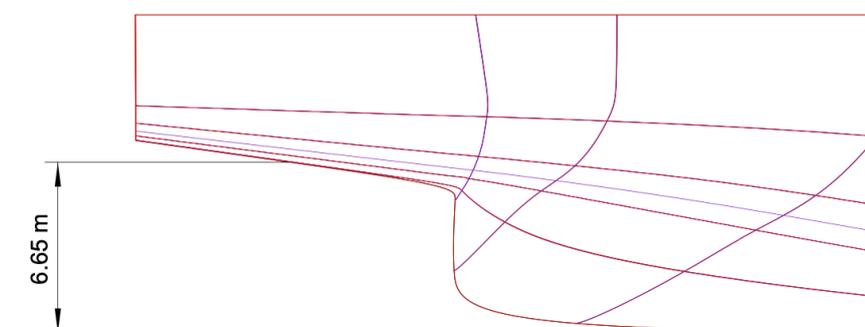


Figura 6.24. Dimensión del diámetro máximo
Fuente: Rhinoceros

6.4.3. Análisis datos obtenidos propulsión por pods

Se obtienen como favorables las siguientes configuraciones de motores de las Tablas 6.42 y 6.43, que se compararán con el buque proyecto para confirmar que su instalación sería posible.

MOTOR DIÉSEL - Wärtsilä 6L64

Tabla 6.42. Dimensiones motor diésel seleccionado

Nº Motores	H (mm)	B (mm)	L (mm)
2	6260	4170	10250

MOTOR DUAL FUEL – MAN 51/60DF

Tabla 6.43. Dimensiones motor DF seleccionado

Nº Motores	H (mm)	B (mm)	L (mm)
2	5517	4713	10254

Teniendo en cuenta que las dimensiones del buque son 152,40 m de eslora, 25 m de manga y 12,4 m de puntal, a priori es posible su instalación, aunque más adelante se hará una estimación de las dimensiones de cámara de máquinas para comprobar que es viable.

En base a la información de Wärtsilä, (Propeller clearances, 2024), se establece un espacio libre de cada hélice desde la punta de la pala de entre el 25% y 30% del diámetro de la hélice para buques tipo cruceros o ferries. Tomando el caso más desfavorable que es el del motor diésel, con un diámetro de 5,79 m, un 30% sería 1,74 m, esto serían unos 3,50 m, que sumando los dos diámetros de las hélices se obtienen unos 15 m, teniendo en cuenta que el buque dispone de 25 m de manga, es totalmente válida la instalación de hélices con los diámetros calculados.

6.5.Cálculo dimensiones de cámara de máquinas

Para poder conocer si es viable la instalación del motor dual fuel seleccionado, se debe conocer las dimensiones de la cámara de máquinas, las cuales se van a calcular en función al libro “El proyecto básico del buque mercante”, (Alvariño Castro, Azpíroz Azpíroz y Meizoso Fernández, 1997). Se da por hecho, que el motor diésel está ya instalado en el buque base.

Según este libro, la eslora se dimensiona en función del motor, y no al contrario.

- Eslora: se va a calcular en función de la longitud del motor principal (23).

$$L_{CM} = cl_1 \cdot L_{MP} \quad (23)$$

Donde cl_1 es 2,85.

$$L_{CM(DF)} = 2,85 \cdot 10,254 = 29,22 \text{ m}$$

$$L_{CM(D)} = 2,85 \cdot 10,250 = 29,21 \text{ m}$$

Si se obtiene una eslora de cámara de máquinas de 30 m, conociendo que no existe a priori, ninguna limitación legal de esta eslora y que no equivale ni a una cuarta parte de la eslora de buque, se puede considerar viable esta dimensión.

- Manga: se calcula en función del espacio libre, con la manga de los motores y un margen, que, al no necesitar doble fondo, será de 1 m por cada costado. También se debe tener en cuenta la distancia de desmontaje de los motores, conociendo por la guía del motor que esta distancia es de 830 mm para el motor dual fuel y de 900 mm para el de diésel.

$$B_{EL} = n \cdot B_{MP} + \text{margen} \quad (24)$$

$$B_D = n \cdot B_D \quad (25)$$

$$B_{EL(DF)} = 2 \cdot 4,713 + 2 = 11,43 \text{ m}$$

$$B_{D(DF)} = 2 \cdot 0,83 = 1,66 \text{ m}$$

$$B_{EL(D)} = 2 \cdot 4,170 + 2 = 10,34 \text{ m}$$

$$B_{D(D)} = 2 \cdot 0,9 = 1,8 \text{ m}$$

Por lo tanto, la manga de cámara de máquinas se estimará en 13,1 m para el motor dual fuel y 12,14 m para el motor diésel, lo cual no debe haber problema, ya que es prácticamente el 50% de la manga total del buque, lo que permite margen por los costados.

- Puntal: como el motor puede traspasar cubiertas, si el puntal es de 12m y la altura del motor de 5,13 m, no debe haber problema. Ya que las dimensiones de cámara de máquinas no están limitadas por valores exactos.

6.6. Selección de la propulsión

Tras haber realizado los cálculos para una solución de propulsión mediante línea de ejes y, por otra parte, mediante pods o azipods, se puede considerar como conclusión que hay muchas más ventajas si se utiliza una propulsión por pods. Tal y como se ha indicado en el inicio del apartado 6.4, no sería necesaria una reductora con 2 entradas, pero a esto hay que sumarle la mejor maniobrabilidad que proporciona este tipo de propulsión y el ahorro del timón. Según los cálculos obtenidos de los apartados 6.3 y 6.4, una propulsión por pods también permitiría alcanzar los 22 nudos, estimados inicialmente, aunque se necesitará una potencia levemente superior a la calculada por línea de ejes, no es tan significativa como para decantarse por la solución mediante línea de ejes.

7. ESTUDIO ECONÓMICO

Para realizar el estudio económico en el que se compara un ferry propulsado con motores diésel y uno propulsado por motores dual fuel, se seguirán los siguientes pasos:

1. Identificar los costes relevantes.

Para realizar una comparación económica, es necesario identificar los costes relevantes asociados con la operación y mantenimiento de ambos motores, como el coste de adquisición del motor, los costes de combustible, mantenimiento y reparación.

2. Analizar los costes de instalación.

La remotorización de un buque a dual fuel conlleva una serie de costes asociados, los cuales se deben tener en cuenta a la hora de calcular rentabilidad.

3. Analizar los costes de combustible.

Son una consideración importante en cualquier comparación de rentabilidad con motores, es importante considerar el coste de los diferentes tipos de combustible que se utilizan en cada motor y evaluar la diferencia a largo plazo.

7.1. Costes asociados a la explotación del buque

Los costes del buque se diferencian en tres tipologías, de capital, fijos y variables. Los costes de capital son la tipología de gasto derivado de la inversión que se realiza en comprar, reparar, actualizar o mejorar un activo de la compañía, aplicado al sector naval y a la instauración de una ruta comercial, se trataría de la primera inversión a realizar para una remotorización, incluyendo los gastos de crédito en caso de solicitarlo. Los costes fijos, tal y como indica su propia denominación incluirá todos aquellos costes que son fijos a lo largo de la vida del buque independientemente de si se está explotando o no, como puede ser el mantenimiento, tripulación, reparaciones, seguros o gastos generales. Por último, los costes variables se refieren a todos aquellos que no son fijos a lo largo de la vida del buque, sino que dependen del momento y la ruta que realice el buque, estos serían los asociados al combustible, tasas de puerto o pasos por canales.

7.1.1. Costes de capital

Aplicando esta tipología de costes a la ruta del proyecto se considera que formará parte de esta los gastos derivados de la remotorización del buque.

Para poder contar con datos reales sobre los precios del mercado actual del motor elegido se ha intentado contactar con diferentes empresas, pero siendo muy difícil que se proporcione dicha información, se estimará.

Se conoce que un motor marino de las características del proyecto, su precio puede variar según diferentes factores, como la ubicación geográfica, las especificaciones personalizadas, el montaje y/o envío e incluso la disponibilidad. Sin embargo, el precio de un motor nuevo en el

mercado actual puede oscilar entre los 3 y los 4 millones de dólares estadounidenses. Es importante tener en cuenta que el precio final también dependerá de los costos adicionales, como los impuestos y negociaciones con el proveedor.

7.1.2. Costes fijos

Esta tipología de costes se va a considerar constante, ya que no debe haber mayor diferencia en estos costes si el buque es propulsado por diésel o por GNL. Por extensión del proyecto, no se va a considerar si hay cierta diferencia entre una propulsión y otra, ya que son gastos que deberían ser bastante constantes, independientemente del combustible utilizado.

7.1.3. Costes variables

Estos costes si son estudio del alcance del proyecto, ya que depende exclusivamente de los viajes que realice el buque, y se necesita conocer el dato para calcular el gasto anual.

1. Costes de combustible.
2. Costes de puerto.
3. Costes de paso de canales o estrechos. No aplica en este caso porque no se incluyen en la ruta.

En este apartado se estimará la ruta que puede llevar a cabo el buque durante un año, teniendo en cuenta las distancias, lo que permitirá calcular el gasto de combustible y tarifas portuarias

7.1.3.1. Cálculo del tiempo de navegación

Para poder estimar los costes asociados al combustible, se debe calcular el tiempo de navegación de una ruta redonda completa, de esta forma se puede calcular cuántos viajes completos se pueden realizar en un año y por lo tanto conocer el precio estimado del combustible en gas y diésel.

Teniendo en cuenta que la ruta que se considera la óptima debido a la cercanía entre puertos sería partir desde Cartagena dirección Orán, Mostaganem, Argel, Annaba y de nuevo Cartagena, con este sentido de la ruta, conocidas las distancias por la web bednblue, (*Calculadora de distancia al mar* | *BednBlue*, 2023), y con una velocidad media estimada de 22 nudos, se calculan las horas por trayecto, se incluyen 6 horas extras a cada trayecto para carga, descarga y repostaje en los puertos de Argelia, y 24 horas de atraque en el puerto de Cartagena. Una vez se conocen las horas en cada trayecto, se suma para conseguir las horas totales invertidas en realizar un viaje redondo con inicio y fin en Cartagena, y con este dato se calculan los viajes a realizar en 1 año, Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Tiempo por trayecto, distancias y viajes en 1 año

	Distancia (mn)	Tiempo de trayecto (h)	Tiempo trayecto + 6h extra (24h en Cartag.)	Viajes en un año
Cartagena - Orán	116,5	5,30	29,30	96
Orán - Mostaganem	38	1,73	7,73	

	Distancia (mn)	Tiempo de trayecto (h)	Tiempo trayecto + 6h extra (24h en Cartag.)	Viajes en un año
Mostaganem - Argel	152,2	6,92	12,92	
Argel - Annaba	226,7	10,30	16,30	
Annaba - Cartagena	421,2	19,15	25,15	

7.1.3.2. Cálculo del gasto de combustible

Uno de los gastos más importantes del proyecto es el de combustible, es uno de los factores predominantes para saber si merece la pena una remotorización del buque, y es que la propulsión Dual Fuel sea rentable en comparación con la propulsión con diésel. Se va a comparar el diésel ULSFO con el GNL.

- ULSFO (ultra low sulfur fuel oil)

Según la web *shipandbunker*, (*Rotterdam Bunker Prices - Ship & Bunker*, 2023), los precios de septiembre del año 2022 a enero del 2023 en el puerto de Rotterdam son los que se muestran en la Figura 7.1.

Latest Prices, 0.10% Low Sulfur Fuel Oil						
		Price \$/mt	Change	High	Low	Spread
T	Jan 26	787.50 ▲	+97.50	790.00	785.00	5.00
T	Nov 29	690.00 ▼	-110.00	690.00	690.00	0.00
T	Nov 24	800.00 ▼	-20.00	800.00	800.00	0.00
T	Nov 17	820.00 ▼	-15.00	830.00	810.00	20.00
T	Nov 10	835.00 ▼	-97.50	835.00	835.00	0.00
T	Nov 8	932.50 ▲	+67.50	935.00	930.00	5.00
W	Oct 19	865.00 ▼	-50.00	865.00	865.00	0.00
T	Sep 29	915.00 ▲	+17.50	915.00	915.00	0.00
T	Sep 22	897.50 ▼	-12.50	900.00	895.00	5.00
T	Sep 15	910.00 ▼	-45.00	910.00	910.00	0.00
T	Sep 13	955.00 ▼	-35.00	955.00	955.00	0.00

Figura 7.1. Precios del ULSFO en Rotterdam de 2022 - 2023
Fuente: Shipandbunker (2023)

- **GNL (Gas Natural Licuado)**

Según la web *shipandbunker*, (*Rotterdam Bunker Prices - Ship & Bunker*, 2023), los precios de septiembre del mes de agosto de 2023 en el puerto de Rotterdam son los que se muestran en la Figura 7.2.

Latest Prices, LNG, not adjusted for energy content						
		Price \$/mt	Change	High	Low	Spread
T	Aug 15	709.00 ▶	0.00	709.00	709.00	0.00
M	Aug 14	709.00 ▲	+61.00	709.00	709.00	0.00
F	Aug 11	648.00 ▶	0.00	648.00	648.00	0.00
T	Aug 10	648.00 ▶	0.00	648.00	648.00	0.00
W	Aug 9	648.00 ▶	0.00	648.00	648.00	0.00
T	Aug 8	648.00 ▶	0.00	648.00	648.00	0.00
M	Aug 7	648.00 ▲	+27.00	648.00	648.00	0.00
F	Aug 4	621.00 ▶	0.00	621.00	621.00	0.00
T	Aug 3	621.00 ▶	0.00	621.00	621.00	0.00
W	Aug 2	621.00 ▶	0.00	621.00	621.00	0.00
T	Aug 1	621.00 ▶	0.00	621.00	621.00	0.00

Figura 7.2. Precios del GNL en Rotterdam de 2022 - 2023
Fuente: Shipandbunker (2023)

Como los precios del gas, Figura 7.2, están más actualizados que los del ULSFO, Figura 7.1, se adjunta una gráfica, Figura 7.3, con la desviación de precios en los mismos meses, de septiembre del 2022 a enero de 2023.

VLSFO	MGO	LSMGO	IFO380	ULSFO	LNG	LNG-380e	LNG-MGOe
-------	-----	-------	--------	-------	------------	----------	----------



Figura 7.3. Precios del LNG en Rotterdam de 2022 - 2023
Fuente: Shipandbunker (2023)

Según la gráfica de la Figura 7.3, los precios variaron desde 2908 \$/mt en septiembre de 2022 a 709 \$/mt en junio de 2023.

Conocidos los precios de mercado de los combustibles anteriores y el número de viajes que se pueden realizar en un año, se calculan las horas de navegación del buque durante ese año. En este cálculo se tendrá en cuenta el tiempo de trayecto sin las 6 horas extra, ni las 24 horas en Cartagena, ya que ese tiempo no es tiempo de navegación y el motor que alimenta la propulsión no deberá estar en funcionamiento. Por tanto, las horas de navegación totales durante un año completo serán de 4159,10 h.

Como se ha visto en el apartado 7.5.1, para calcular el consumo total monetario de los motores, era necesario conocer las horas totales de funcionamiento, las cuales se van a calcular en diferentes casuísticas, ya que normalmente, los armadores utilizan el combustible más barato en cada viaje. Se va a tener en cuenta con el motor dual fuel un viaje redondo con diésel, un viaje redondo con gas, medio viaje a gas y medio viaje a diésel, y con el motor diésel, el viaje redondo en diésel.

Siendo el consumo del motor diésel de 169 g/kWh, y el del motor dual fuel, en gas es de 7150 kJ/kWh, y de 176 g/kWh en diésel. Se calcula el consumo total en kJ y tm según la fórmula (26).

$$\text{Consumo total} = \text{Consumo del motor} \cdot \text{Potencia motor (kW)} \cdot \text{Tiempo funcionamiento (h)} \quad (26)$$

Como los cálculos para el consumo en gas se tienen que calcular en kJ, se debe pasar a tonelada métrica, como en la fórmula (27).

$$\text{Consumo total (tm)} = \frac{\text{Consumo del motor (kJ)}}{\text{Poder calorífico del GNL} \cdot 4.184} \quad (27)$$

Teniendo en cuenta los precios del mercado para el GNL y diésel ULSFO realizando una media entre el precio máximo y mínimo en el que se han encontrado, 1809 \$/tm y 872 \$/tm respectivamente, y el poder calorífico del GNL se establece en 10800 kcal/kg, se obtienen los consumos de la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Consumo anual según combustible utilizado

	DF. Viaje solo en diésel	DF. Viaje solo en gas	DF. Medio viaje en gas	DF. Medio viaje en diésel	D. Viaje diésel
Consumo total anual (tm)	16601,82	14925,66	7462,83	8300,91	16321,08
Consumo monetario (\$)	13318640,25	24840475,95	12420237,98	6659320,12	13093419,74

7.1.3.3. Tarifas portuarias

- **Cartagena**

Disponiendo del documento de tasas y tarifas portuarias en vigor para el puerto de Cartagena, (*TASAS Y TARIFAS*, 2023), se realizan los cálculos necesarios e incluidos en las tarifas portuarias, divididos en tasas del buque, tasas de pasaje, tasa de mercancía, servicio de recepción de desechos y tasas de ayuda a la navegación.

- Tasas del buque

Para el cálculo de esta tasa se deben estimar varios valores, como el arqueo bruto, que se estima en base a los datos de los buques con características similares, estimándolo en 1600 GT. También se estimaría la estancia en puerto de 24h.

Habría diferencia de tasa entre un buque propulsado por GNL y diésel, por lo que hay bonificación del 50% a aquellos buques que utilicen como combustible el gas natural licuado.

En función a los coeficientes tomados del documento portuario, los GT estimados y las horas de estancia en puerto, se obtienen las tasas del buque, según sea propulsado a diésel o GNL, en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3. Tasas del buque en función al combustible utilizado por el motor

Diésel	GNL
3330,35 €	1665,17 €

- Tasa de amarre

En la tasa de amarre se tiene en cuenta, de nuevo, el arqueo bruto, siendo este importe de 151,008 € por escala.

- Tasa de pasaje

Para el cálculo de esta tasa, se estiman 3 casos de carga:

- 50% pasaje + 50% carga
- 75% pasaje + 25% carga
- 25% pasaje + 75% carga

Se parte de la estimación de 900 pasajeros, en función de los datos conocidos de buques similares, y se calcula la capacidad aproximada de vehículos de 2 ruedas, de más de 5 m y de menos de 5 m, Tabla 7.4, teniendo en cuenta los siguientes valores:

- Disponible un 70% de la eslora total (100 m lineales)
- Disponible un 80% de la manga
- Margen de 1m entre vehículos
- Vehículo de – 5m: 5 m x 2,30 m
- Vehículos de 2 ruedas: 1,5 m x 2,5 m
- Vehículos de + 5m: 12 m x 3 m

Tabla 7.4. Capacidad de vehículos

Vehículos de - 5m	Vehículos de + 5m	Vehículos de 2 ruedas
129	59	567

Por la extensión del proyecto, se estimará únicamente los casos en los que se transportará pasajeros y sus vehículos, Tabla 7.5, ya que el estudio de las diferentes casuísticas de carga se saldría del alcance del proyecto, aunque hay que tener en cuenta que existe la posibilidad de uso de transporte de carga rodada sin que esta sea de los pasajeros, o incluso de otros tipos de carga.

Tabla 7.5. Tasas de pasaje en función a los casos de carga

50% pasaje + 50% carga	75% pasaje + 25% carga	25% pasaje + 75% carga
2605,16 €	3142,94 €	2067,37 €

- Servicio de recepción de desechos generados por buques

Esta tasa se calcula en función del GT del buque, siendo la tasa que aplica la incluida en la Tabla 7.6.

Tabla 7.6. Tasa de desechos

Tasa desechos
720 €

- Tasa de practicaaje

Con la aplicación de la tasa para buques portacontenedores y roro, ya que es la que más se puede adaptar al buque proyecto, se aplica la tasa de 119,4371€, como parte fija y 0,0255 €/GT de la parte variable, aplicando un total de 527,4371€ por escala.

- Argelia

Para poder obtener una estimación de las tarifas portuarias de Argelia, y teniendo en cuenta que en todos los puertos argelinos se aplicarían las mismas tasas, debido a la poca transparencia de este tipo de datos en el país africano, se estimará con el documento de tarifas portuarias de Túnez, el cual permite una aproximación más realista que la de un puerto español.

- Tasa del buque.

Se divide en dos tasas, entrada en puerto y atraque, cada una de ellas tiene opción a bonificaciones por fidelidad, pero estas son para muchas más escalas de las que se van a realizar en los 96 viajes redondos que se han calculado, por lo que se desestima la posibilidad de la bonificación.

Estas tasas, Tabla 7.7, se aplican en función al volumen del buque, el cual se estima como el producto de eslora, manga y calado, obteniendo así un valor de 32924,22 m³.

Tabla 7.7. Tasas del buque

Entrada al puerto	Bono fidelidad (a partir del segundo año)	Atraque	Bono fidelidad (a partir del segundo año)
4492,053 €	301 – 400 escalas 25%	3027,041 €	301 – 400 escalas 25%

- Tasa de pasaje y mercancía

Al igual que se ha realizado en el puerto de Cartagena, se estiman tres casos distintos de carga, obteniendo así los resultados de la Tabla 7.8, Tabla 7.9 y Tabla 7.10.

Tabla 7.8. Resultado tasas pasaje 50% pasaje y 50% carga

Embarque y desembarque pasajeros	Embarque y desembarque vehículos pasajeros	Puente de pasajeros	Exenciones (Pasajeros con origen o destino Argelia (no aplicarían las tasas))
1800 €	193,45 €	300 €	100%

Tabla 7.9. Resultado tasas pasaje 75% pasaje y 25% carga

Embarque y desembarque pasajeros	Embarque y desembarque vehículos pasajeros	Puente de pasajeros	Exenciones (Pasajeros con origen o destino Argelia (no aplicarían las tasas))
2700 €	96,73 €	300 €	100%

Tabla 7.10. Resultado tasas pasaje 25% pasaje y 75% carga

Embarque y desembarque pasajeros	Embarque y desembarque vehículos pasajeros	Puente de pasajeros	Exenciones (Pasajeros con origen o destino Argelia (no aplicarían las tasas))
900 €	290,18 €	300 €	100%

- Tasas aplicables a los servicios portuarios prestados al buque

En estas tasas, Tabla 7.11, se encuentran las tasas de practicaje que se estima en función al volumen del buque.

Tabla 7.11. Tasas servicios portuarios

Practicaje
650,010 €

- Tasa de seguridad aplicable al buque y mercancía

Esta tasa se calcula en función a la tasa del buque de entrada a puerto, Tabla 7.12.

Tabla 7.12. Tasas de seguridad

Seguridad de amparo Art. 1110	Seguridad de amparo Art. 1210
224,603 €	151,352 €

7.2. Ingresos periódicos

Son motivo de los flujos de ingresos que la naviera recibiría de manera regular y recurrente a lo largo del tiempo.

Algunos de los ingresos periódicos serían:

1. Venta de billetes de transporte a pasajeros
2. Servicios a bordo (por extensión no es motivo de estudio)
3. Servicio de traslado de mercancías (por extensión no es motivo de estudio)
4. Fletamento (por extensión no es motivo de estudio)

Los ingresos periódicos son esenciales para el cálculo de rentabilidad de la línea regular estudiada, ya que proporcionan una base constante de flujo de efectivo que puede utilizarse para cubrir los gastos operativos, invertir en el crecimiento y generar beneficios.

- Transporte de pasajeros

Para poder estimar los precios que pagarían los pasajeros por viajar con o sin vehículo, se hace una búsqueda de las rutas similares que existen y los precios que tiene la competencia. Se representan estas tarifas en las Tablas de 7.13 a 7.19.

Tabla 7.13. Precios máximos y mínimos en la ruta Valencia – Mostaganem (213,9 mn)

	Pasajeros	Pasajeros + Vehículo
Min.	119,48 €	309,47 €
Máx.	494,38 €	934,39 €

Tabla 7.14. Precios máximos y mínimos en la ruta Almería – Orán (111,9 mn)

Pasajeros	Pasajeros + Vehículo
129 €	349 €

Tabla 7.15. Precios máximos y mínimos en la ruta Alicante – Argel (194,3 mn)

	Pasajeros	Pasajeros + Vehículo
Min.	102 €	455 €
Máx.	175 €	528 €

Tabla 7.16. Precios máximos y mínimos en la ruta Alicante – Orán (159,3 mn)

	Pasajeros	Pasajeros + Vehículo
Min.	102 €	455 €
Máx.	175 €	547 €

Tabla 7.17. Precios máximos y mínimos en la ruta Marsella – Argel (406,9 mn)

	Pasajeros	Pasajeros + Vehículo
Min.	158 €	632 €
Máx.	232 €	706 €

Tabla 7.18. Precios máximos y mínimos en la ruta Marsella – Orán (534,6 mn)

	Pasajeros	Pasajeros + Vehículo
Min.	158 €	632 €
Máx.	257 €	731 €

Tabla 7.19. Precios máximos y mínimos en la ruta Barcelona – Orán (366,3 mn)

	Pasajeros	Pasajeros + Vehículo
Min.	102 €	455 €
Máx.	175 €	528 €

Una vez se han obtenido los precios actuales de cada ruta similar a la del proyecto, se calcula la media de cada ruta en caso de obtener dos valores (máximo y mínimo), que, junto con la distancia entre puertos de la ruta, se obtiene un coeficiente que relaciona el precio con la distancia de la ruta, de esta manera se puede extrapolar la información que proporciona esta investigación de precios, Tabla 7.20. Dividiendo en dos la tipología de viaje como viaje de larga duración aquellos que superan las 300 millas náuticas, y viajes de corta duración los que están por debajo de ese valor, Figura 7.21. Con este coeficiente calculado en los viajes similares y conociendo las distancias entre puertos de la ruta proyecto, se calcula el precio por billete en función de si se incluye vehículo o no, Figura 7.22.

Tabla 7.20. Precios medios y distancias en rutas existentes. Coeficiente calculado.

	Pasajero (€)	Pasajero + Vehículo (€)	Distancia (millas náuticas)	Pasajero (€/mn)	Pasajero + Vehículo (€/mn)
Valencia - Mostaganem	306,93	621,93	213,9	1,435	2,908
Almería - Orán	129	349	111,9	1,153	3,119
Alicante - Argel	138,5	491,5	194,3	0,713	2,530
Alicante - Orán	138,5	501	159,3	0,869	3,145
Marsella - Argel	195	669	406,9	0,479	1,644
Marsella - Orán	207,5	681,5	534,6	0,388	1,275
Barcelona - Orán	138,5	491,5	366,3	0,378	1,342

Tabla 7.21. Coeficiente medio calculado en función de la ruta

	Pasajero (€/mn)	Pasajero + Vehículo (€/mn)
Coef. media corta distancia	1,042	2,925
Coef. media larga distancia	0,415	1,420

Tabla 7.22. Precios calculados para la ruta proyecto y distancias entre puertos

	Pasajero (€)	Pasajero + Vehículo (€)	Distancia (millas náuticas)
Cartagena - Orán	121,451	340,793	116,5
Orán - Mostaganem	39,615	111,160	38
Mostaganem - Argel	158,668	445,224	152,2
Argel - Annaba	94,117	321,968	226,7
Annaba - Cartagena	174,865	598,205	421,2

7.3. Estudio económico completo

Una vez se han calculado todos los datos, se plantean costes e ingresos en la Tabla 7.23, 7.24, 7.25 y 7.26, según sea la propulsión mediante motor diésel, dual fuel quemando gas, dual fuel quemando diésel o dual fuel quemando ambos combustibles. Se tiene en cuenta un margen del 30% asociado a otros gastos de la remotorización, ya que se debe tener en cuenta que hay que instalar nuevos tanques de combustible para el gas, nuevos conductos, entre otros materiales y herramientas necesarias para llevar a cabo la remotorización, como son gastos muy complicados de conocer, se tomará ese margen, teniendo en cuenta que se tiene un margen también del 5% para el beneficio de la mano de obra.

Tabla 7.23. Estudio económico con motor diésel

Descripción	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Costes variables									
Costes de combustible									
Motor Diésel ULFSO	16321	802	13093420	16321	802	13093420	16321	802	13093420
Tarifas portuarias Cartagena									
Tasas del buque diésel	96	3330	319714	48	3330	159857	48	3330	159857
Tasas de amarre	96	151	14497	96	151	14497	96	151	14497
Tasa de pasaje	96	2605	250095	96	3143	301722	96	2067	198468
Tasa de desechos	96	720	69120	96	720	69120	96	720	69120
Tasa de practicaje	96	527	50592	96	527	50592	96	527	50592
Total			704018			595788			492533
Tarifas portuarias Argelia									
Tasa del buque. Entrada al puerto	384	4492	1724948	384	4492	1724948	384	4492	1724948
Tasa del buque. Atraque	384	3027	1162384	384	3027	1162384	384	3027	1162384
Tasa de pasaje y mercancía	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Tasa de practicaje	384	650	249604	384	650	249604	384	650	249604
Tasa de seguridad	384	376	144367	384	376	144367	384	376	144367
Total			3281303			3281303			3281303
Ingresos periódicos									
Cartagena - Orán	96	76634	7356873	96	92970	8925120	96	60298	5788627
Orán - Mostaganem	96	24997	2399671	96	30325	2911203	96	19668	1888138
Mostaganem - Argel	96	100118	9611285	96	121459	11660100	96	78776	7562469

Descripción	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Argel - Annaba	96	63120	6059480	96	73912	7095595	96	52339	5024511
Annaba - Cartagena	96	117273	11258253	96	137326	13183295	96	97221	9333212
Total			36685562			43775312			29596957
GASTO TOTAL			17078740			16970510			16867255
BENEFICIO TOTAL			19606822			26804802			12729702

Tabla 7.24. Estudio económico con motor dual fuel quemando gas

Descripción	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Costes de capital									
Motor Dual Fuel	2	3680000	7360000	2	3680000	7360000	2	3680000	7360000
Gastos asociados a la remotorización	7360000	30%	2208000	7360000	30%	2208000	7360000	30%	2208000
Beneficio industrial	7360000	5%	368000	7360000	5%	368000	7360000	5%	368000
Total			9936000			9936000			9936000
Costes variables									
Costes de combustible									
Motor DF GNL	14926	1664	24840476	14926	1664	24840476	14926	1664	24840476
Tarifas portuarias Cartagena									
Tasas del buque GNL	96	1665	159856	96	1665	159856	96	1665	159856
Tasas de amarre	96	151	14497	96	151	14497	96	151	14497
Tasa de pasaje	96	2605	250095	96	3143	301722	96	2067	198468

	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
Descripción	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Tasa de desechos	96	720	69120	96	720	69120	96	720	69120
Tasa de practicaaje	96	527	50634	96	527	50634	96	527	50634
Total			544202			595829			492575
Tarifas portuarias Argelia									
Tasa del buque. Entrada al puerto	384	4492	1724948	384	4492	1724948	384	4492	1724948
Tasa del buque. Atraque	384	3027	1162384	384	3027	1162384	384	3027	1162384
Tasa de pasaje y mercancía	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Tasa de practicaaje	384	650	249604	384	650	249604	384	650	249604
Tasa de seguridad	384	376	144367	384	376	144367	384	376	144367
Total			3281303			3281303			3281303
Ingresos periódicos									
Cartagena - Orán	96	76634	7356873	96	92970	8925120	96	60298	5788627
Orán - Mostaganem	96	24997	2399671	96	30325	2911203	96	19668	1888138
Mostaganem - Argel	96	100118	9611285	96	121459	11660100	96	78776	7562469
Argel - Annaba	96	63120	6059480	96	73912	7095595	96	52339	5024511
Annaba - Cartagena	96	117273	11258253	96	137326	13183295	96	97221	9333212
Total			36685562			43775312			29596957
GASTO TOTAL			38601981			38653608			38550353
BENEFICIO TOTAL			-1916419			5121704			-8953396

Tabla 7.25. Estudio económico con motor dual fuel quemando gas y diésel

Descripción	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Costes de capital									
Motor Dual Fuel	2	3680000	7360000	2	3680000	7360000	2	3680000	7360000
Gastos asociados a la remotorización	1	30%	2208000	1	30%	2208000	1	30%	2208000
Beneficio industrial	1	5%	368000	1	5%	368000	1	5%	368000
Total			9936000			9936000			9936000
Costes variables									
Costes de combustible									
Motor DF Gas	7463	1664	12420238	7463	1664	12420238	7463	1664	12420238
Motor DF Diésel	8301	802	6659320	8301	802	6659320	8301	802	6659320
Total			19079558			19079558			19079558
Tarifas portuarias Cartagena									
Tasas del buque GNL	48	1665	79928	48	1665	79928	48	1665	79928
Tasas del buque diésel	48	3330	159857	48	3330	159857	48	3330	159857
Tasas de amarre	96	151	14497	96	151	14497	96	151	14497
Tasa de pasaje	96	2605	250095	96	3143	301722	96	2067	198468
Tasa de desechos	96	720	69120	96	720	69120	96	720	69120
Tasa de practicaaje	96	527	50592	96	527	50592	96	527	50592
Total			624089			675716			572461
Tarifas portuarias Argelia									
Tasa del buque. Entrada al puerto	384	4492	1724948	384	4492	1724948	384	4492	1724948
Tasa del buque. Atraque	384	3027	1162384	384	3027	1162384	384	3027	1162384

Descripción	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Tasa de pasaje y mercancía	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Tasa de practicaaje	384	650	249604	384	650	249604	384	650	249604
Tasa de seguridad	384	376	144367	384	376	144367	384	376	144367
Total			3281303			3281303			3281303
Ingresos periódicos									
Cartagena - Orán	96	76634	7356873	96	92970	8925120	96	60298	5788627
Orán - Mostaganem	96	24997	2399671	96	30325	2911203	96	19668	1888138
Mostaganem - Argel	96	100118	9611285	96	121459	11660100	96	78776	7562469
Argel - Annaba	96	63120	6059480	96	73912	7095595	96	52339	5024511
Annaba - Cartagena	96	117273	11258253	96	137326	13183295	96	97221	9333212
Total			36685562			43775312			29596957
GASTO TOTAL			32920950			32972577			32869322
BENEFICIO TOTAL			3764613			10802736			-3272365

Tabla 7.26. Estudio económico con motor dual fuel quemando diésel

Descripción	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Costes de capital									
Motor Dual Fuel	2	3680000	7360000	2	3680000	7360000	2	3680000	7360000
Gastos asociados a la remotorización	1	30%	2208000	1	30%	2208000	1	30%	2208000
Beneficio industrial	1	5%	368000	1	5%	368000	1	5%	368000

	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
Descripción	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Total			9936000			9936000			9936000
Costes variables									
Costes de combustible									
Motor DF Diésel	16602	802	13318640	16602	802	13318640	16602	802	13318640
Tarifas portuarias Cartagena									
Tasas del buque diésel	96	3330	319714	48	3330	159857	48	3330	159857
Tasas de amarre	96	151	14497	96	151	14497	96	151	14497
Tasa de pasaje	96	2605	250095	96	3143	301722	96	2067	198468
Tasa de desechos	96	720	69120	96	720	69120	96	720	69120
Tasa de practicaaje	96	527	50592	96	527	50592	96	527	50592
Total			704018			595788			492533
Tarifas portuarias Argelia									
Tasa del buque. Entrada al puerto	384	4492	1724948	384	4492	1724948	384	4492	1724948
Tasa del buque. Atraque	384	3027	1162384	384	3027	1162384	384	3027	1162384
Tasa de pasaje y mercancía	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Tasa de practicaaje	384	650	249604	384	650	249604	384	650	249604
Tasa de seguridad	384	376	144367	384	376	144367	384	376	144367
Total			3281303			3281303			3281303
Ingresos periódicos									
Cartagena - Orán	96	76634	7356873	96	92970	8925120	96	60298	5788627
Orán - Mostaganem	96	24997	2399671	96	30325	2911203	96	19668	1888138
Mostaganem - Argel	96	100118	9611285	96	121459	11660100	96	78776	7562469

Descripción	50% pasaje + 50% carga			75% pasaje + 25% carga			25% pasaje + 75% carga		
	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)	Cantidad	Precio (\$)	Precio total (\$)
Argel - Annaba	96	63120	6059480	96	73912	7095595	96	52339	5024511
Annaba - Cartagena	96	117273	11258253	96	137326	13183295	96	97221	9333212
Total			36685562			43775312			29596957
GASTO TOTAL			27239961			27131731			27028476
BENEFICIO TOTAL			9445602			16643582			2568481

8. CONCLUSIONES

Al inicio del proyecto no existía ninguna línea regular en el puerto de Cartagena, por lo que era bastante llamativa la oportunidad de instaurarla, conectando los principales puertos de Argelia, aprovechando su cercanía. Actualmente ya hay noticias en las que se habla de “línea regular”, aunque no de la misma forma que se ha definido en este proyecto, con un buque tipo ferry y orientado a pasajeros con sus vehículos, por lo que sigue siendo un mercado aun sin explotar, ya que no solo se basa en conexión para carga general, sino que tiene un punto de vista incluso turístico.

Analizando la situación socioeconómica, se obtienen datos en los que se puede concluir que este servicio es mucho más probable su utilización por parte de los residentes de España o Europa, que de los residentes argelinos. Teniendo un gran impacto en los meses que se realiza la operación Marhaba, y en este caso, se conseguiría una liberación significativa de los desplazamientos por carreteras entre la Región de Murcia y la provincia de Andalucía.

Según los cálculos obtenidos y estudio realizado, se establece un buque tipo ferry de eslora 152,4 m y 25 m de manga, con capacidad para 900 pasajeros y 129 vehículos de hasta 5 m, que navegará a una velocidad media de 22 nudos. La dimensión crítica del buque es la eslora, condicionado por las dimensiones de las terminales portuarias argelinas.

Los cálculos que se toman como válidos para conocer la resistencia al avance, y, por lo tanto, la potencia necesaria, han sido los obtenidos por el método de Holtrop calculado mediante el software de Maxsurf. Debido a la potencia necesaria obtenida y la velocidad, se determina la utilización de 2 hélices propulsivas de 5 palas.

Para la configuración diésel con línea de ejes, se determinan dos motores de la marca Wärtsilä, más concretamente el motor 9L46F de 10800 kW de potencia. Y para la configuración dual fuel con línea de ejes, se estima el motor 12M46DF de la marca Mak, que proporciona también 10800 kW de potencia.

Se estudia también una configuración de sistema propulsivo con pods, y tras haber realizado los cálculos para una solución de propulsión mediante línea de ejes y, por otra parte, mediante pods o azipods, se considera que tiene más ventajas la utilización de pods. Esta conclusión deriva de que no sería necesaria una reductora con 2 entradas, se obtiene una mejor maniobrabilidad, y aunque se necesitará una potencia levemente superior a la calculada por línea de ejes, no es tan significativa como para decantarse por la solución mediante línea de ejes. Se selecciona entonces un motor dual fuel de 12600 kW de potencia, 51/60DF de la marca MAN, y se estima un motor diésel preinstalado en el buque proyecto, 6L64 de la marca Wärtsilä con una potencia de 12900 kW.

Una vez realizados todos los cálculos del estudio económico se concluye que no se disponen datos suficientes sobre la demanda como para determinar si tiene sentido realizar todas las escalas planteadas en el proyecto en Argelia, por lo que se establece escala en todos los puertos determinados ya que son de los puertos más importantes del país y que ya tienen escala de otras rutas regulares, ya sean de Europa o España.

Según los cálculos obtenidos en relación con los gastos anuales en función de la propulsión utilizada, como se puede observar en la Tabla 8.1, la opción que menos gasto supondría sería la opción de propulsión únicamente mediante el motor diésel y con un 25% de pasaje y un 75%

de carga, teniendo en cuenta que en la opción del motor diésel no se está teniendo en cuenta el gasto por capital, ya que el buque base consta con dicho motor. Entre las opciones del motor dual fuel, que, si se tiene en cuenta el gasto por capital, la opción con menos gastos sería también propulsado con diésel y la misma condición de carga anterior. Esto supone que, al haber tanta diferencia de precio del gas al diésel, es más rentable quemar diésel ULSFO.

Tabla 8.1. Gastos totales anuales en función a la propulsión y combustible utilizado

	50% pasaje + 50% carga	75% pasaje + 25% carga	25% pasaje + 75% carga
Dual fuel GNL (M€)	38,602	38,654	38,550
Dual fuel Diésel (M€)	27,240	27,132	27,028
Dual fuel GNL + Diésel (M€)	32,921	32,973	32,869
Diésel (M€)	17,079	16,971	16,867

Como no todo son los gastos, sino que también hay que tener en cuenta los ingresos, se considera que la opción más rentable, únicamente desde el punto de vista de ingresos sería embarcar un 75% de pasaje y un 25% de carga, según la Tabla 8.2, aunque hay que tener en cuenta que la mejor opción a nivel rentabilidad sería 100% de pasaje y carga, el buque tiene calado suficiente para ello, pero no se ha calculado esta opción ya que es la más favorable y sería posible en cualquier caso. Se tiene en cuenta que los ingresos serán los mismos, independientemente del tipo de combustible que se utilice.

Tabla 8.2. Beneficios totales anuales

	50% pasaje + 50% carga	75% pasaje + 25% carga	25% pasaje + 75% carga
Ingresos (M€)	36,686	43,775	29,597

Si se pone en común los gastos y los ingresos, teniendo en cuenta que no todos los ingresos se pueden utilizar para amortizar la inversión, sino que por cada viaje redondo se deben cubrir los gastos asociados a este, se puede observar en la Tabla 8.3 como la inversión se recuperaría antes con propulsión únicamente con diésel y con una disposición de 75% pasaje y 25% carga. La opción con la que se tardaría más en recuperar la inversión de la remotorización sería con propulsión a gas y con un 25% de pasaje y 75% de carga.

La inversión realizada se podría amortizar en el primero año en el 66% de los casos de carga.

Tabla 8.3. Viajes redondos en recuperar la inversión

	50% pasaje + 50% carga	75% pasaje + 25% carga	25% pasaje + 75% carga
Dual fuel GNL (viajes redondos)	119	63	971
Dual fuel Diésel (viajes redondos)	49	36	76
Dual fuel GNL + Diésel (viajes redondos)	70	46	143

Si se compara el gasto de un viaje redondo con gas con el de diésel, con gas el gasto monetario sería de 24,84 millones de euros, y el del diésel 13,093 millones de euros, habiendo una diferencia de 11,747 millones de euros, siendo más rentable el diésel. Pero hay que tener en cuenta que estas cifras están influenciadas por el precio del gas de los últimos años, por lo tanto, se va a comparar el gasto en toneladas métricas del motor dual fuel a gas frente al motor diésel. Según la Tabla 8.4, se puede comprobar que el consumo es menor utilizando gas que con el motor diésel.

Tabla 8.4. Consumo según combustible utilizado y motor

	Viaje redondo en gas	Viaje redondo en diésel
Consumo total anual (tm)	14925,66	16321,08

9. REFERENCIAS

Alvariño Castro, R., Azpíroz Azpíroz, J.J. y Meizoso Fernández, M. (1997) *El Proyecto Básico Del Buque Mercante*. 1ª. edición por Fondo editorial de ingeniería naval y Colegio oficial de ingenieros navales. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/319061637/Alvarino-Castro-Ricardo-El-Proyecto-Basico-Del-Buque-Mercante-pdf> (Consultado: 03-02-2024).

Argelia - Índice de Desarrollo Humano - IDH 2020 | Datosmacro.com (no date). Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/idh/argelia?anio=2020> (Consultado: 28-01-2024).

Argelia aumenta el salario mínimo por primera vez en 8 años - Monitor De Oriente (2020). Disponible en: <https://www.monitordeoriente.com/20200505-argelia-aumenta-el-salario-minimo-por-primera-vez-en-8-anos/> (Consultado: 28-01-2024).

Argelia, socio comercial estratégico en el Magreb|CEOE (2018). Disponible en: <https://www.ceoe.es/es/ceoe-news/internacional/argelia-socio-comercial-estrategico-en-el-magreb> (Consultado: 03-02-2024).

Arredondas, M. (2023) *La Operación Marhaba 2023 bate récords*. Disponible en: <https://www.atalayar.com/articulo/sociedad/operacion-marhaba-2023-bate-records/20230722103724188613.html> (Consultado: 28-01-2024).

BAJONERO VÁSQUEZ, G. (2023) *¿Por qué África es el continente más pobre del mundo? - África - Internacional - ELTIEMPO.COM*. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/mundo/africa/por-que-africa-es-el-continente-mas-pobre-del-mundo-766856> (Consultado: 28-01-2024).

Bloomberg (2020) *Una joya turística (casi desconocida) a poca distancia de Europa*. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/ocio/viajes/20200302/473921399773/argelia-nuevo-destino-cerca-europa.html> (Consultado: 28-01-2024).

Brahim, A. (2019) *Argelia es el segundo país más joven del Magreb, después de Mauritania*. Disponible en: <https://www.atalayar.com/articulo/sociedad/argelia-es-segundo-pais-mas-joven-magreb-despues-mauritania/20140915193546145318.html#> (Consultado: 28-01-2024).

Calculadora de distancia al mar| BednBlue (2023). Disponible en: <https://www.bednblue.es/sailing-distance-calculator> (Consultado: 03-02-2024).

Clean Port - Proyectos Marítimos - Gasnam (2020). Disponible en: <https://gasnam.es/project/clean-port/> (Consultado: 28-01-2024).

Con López, J. (2015) 'El transporte portuario y terrestre por carretera en Argelia Este estudio ha sido realizado por José Coy López, bajo la supervisión de la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Argel'.

Doing Business 2020 (2019). Disponible en: <https://archive.doingbusiness.org/es/reports/global-reports/doing-business-2020> (Consultado: 28-01-2024).

EUROEFE (2019) *¿Qué se juegan España y la UE en Argelia, un socio estratégico esencial?* – *EUROEFE Euractiv*. Disponible en:

<https://euroefe.euractiv.es/section/politicas/linksdossier/que-se-juegan-espana-y-la-ue-en-argelia-un-socio-estrategico-esencial/> (Consultado: 03-02-2024).

EUROEFE (2021) *¿Qué se juegan España y la UE en Argelia, un socio estratégico esencial?*
– EUROEFE Euractiv. Disponible en:
<https://euroefe.euractiv.es/section/politicas/linksdossier/que-se-juegan-espana-y-la-ue-en-argelia-un-socio-estrategico-esencial/> (Consultado: 28-01-2024).

EUROPA PRESS (2019) *España es el segundo país del mundo que más turistas recibe: 82,7 millones*. Disponible en: <https://www.20minutos.es/noticia/3779875/0/espana-segundo-pais-mundo-turistas-recibe-millones/#> (Consultado: 28-01-2024).

Eustat-Instituto Vasco de Estadística (2016). Disponible en:
<https://www.euskadi.eus/entidad/eustat-instituto-vasco-de-estadistica/web01-a2ogafin/es/>
(Consultado: 28-01-2024).

Expansión (2023) *Los cruceros batirán este año un récord histórico | Transporte y Turismo*.
Disponible en:
<https://www.expansion.com/empresas/transporte/2023/09/03/64f46281e5fdea34538b4591.html>
(Consultado: 28-01-2024).

Fernández, A. (2022) *La nueva tecnología de HAV Hydrogen permite transformar barcos antiguos para que usen hidrógeno*. Disponible en: <https://www.motor.es/futuro/hav-hydrogen-barcos-pila-combustible-hidrogeno-202289623.html> (Consultado: 03-02-2024).

Fernández Arribas, J. y Rubio, P. (2020) *Rachid Cheloufi: “Argelia es segura, invito a visitar nuestro país a quien no lo cre...”*. Disponible en: <https://www.atalayar.com/articulo/economia-y-empresas/rachid-cheloufi-argelia-es-segura-invito-visitar-nuestro-pais-quien-crea/20200123184120144227.html> (Consultado: 28-01-2024).

Ficha de buque · Regina Baltica · Flota · Balearia (2020). Disponible en:
<https://www.balearia.com/es/flota/ferry-regina-baltica> (Consultado: 03-02-2024).

García López, D (2020) *Apuntes de hidrodinámica*. Métodos de cálculo de potencia.

García López, D (2020) *Apuntes de hidrodinámica*. Resistencia total y sus componentes.

García López, D (2020) *Apuntes de hidrodinámica*. Casco-Propulsor.

GNL GLOBAL (2021a) *Demanda de buques propulsados a GNL aumenta en 2021*. Disponible en:
<https://gnlglobal.com/demanda-de-buques-propulsados-a-gnl-en-aumenta-en-2021/>
(Consultado: 28-01-2024).

GNL GLOBAL (2021b) *Demanda de buques propulsados a GNL aumenta en 2021*. Disponible en:
<https://gnlglobal.com/demanda-de-buques-propulsados-a-gnl-en-aumenta-en-2021/>
(Consultado: 03-02-2024).

Gutiérrez Romero, J.E. (2022) *Apuntes proyectos*.

HAV Hydrogen (2022). Disponible en: <https://www.havhydrogen.no/hav-hydrogen/systems/> (Consultado: 03-02-2024).

José A. Roca (2023) *El metanol verde irrumpe con fuerza en la búsqueda de un transporte marítimo con emisiones netas cero - El Periódico de la Energía*. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/el-metanol-verde-irrumpe-con-fuerza-en-la-busqueda-de-un-transporte-maritimo-con-emisiones-netas-cero/> (Consultado: 28-01-2024).

Los retos del amoníaco como combustible marino de futuro - Anave (2022). Disponible en: <https://anave.es/los-retos-del-amoniaco-como-combustible-marino-de-futuro/> (Consultado: 28-01-2024).

MDO (2018) *Argelia: el gran exportador de gas y petróleo | Madridiario*. Disponible en: <https://www.madriario.es/457288/argelia:-el-gran-exportador-de-gas-y-petroleo> (Consultado: 03-02-2024).

PIB de Argelia 2018 | Datosmacro (2018). Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/pib/argelia?anio=2018> (Consultado: 03-02-2024).

Positivas expectativas sobre los nuevos combustibles VLSFO (2019). Disponible en: <https://www.spanishports.es/texto-diario/mostrar/1522965/positivas-expectativas-sobre-nuevos-combustibles-vlsfo> (Consultado: 03-02-2024).

Precios de los combustibles marinos - Anave (no date) 2024. Disponible en: <https://anave.es/precio-de-los-combustibles-marinos/> (Consultado: 03-02-2024).

Propeller clearances (no date). Disponible en: <https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/propeller-clearances> (Consultado: 06-02-2024).

Proyectos Navales (2019) *Azipod, Mermaidpod, Esipod y otros pods*. Disponible en: <https://proyectosnavales.com/2015/10/07/azipod-mermaidpod-esipod-y-otros-pods/> (Consultado: 28-01-2024).

Redacción DNV (2018) *DNV GL Energy Transition Outlook 2018*. Disponible en: <https://www.dnv.es/news/la-demanda-mundial-de-energia-alcanzara-su-punto-maximo-en-2035-lo-que-conducira-a-una-remodelacion-de-las-inversiones-en-este-campo--128751> (Consultado: 28-01-2024).

Retos Directivos (2021) *Microentorno de una empresa: definición y factores | EAE*. Disponible en: <https://retos-directivos.eae.es/microentorno-de-una-empresa-definicion-y-factores/#> (Consultado: 28-01-2024).

Rotterdam Bunker Prices - Ship & Bunker (2023). Disponible en: <https://shipandbunker.com/prices/emea/nwe/nl-rtm-rotterdam> (Consultado: 03-02-2024).

TASAS Y TARIFAS (2023). Disponible en: <https://www.apc.es/webapc/actAPC/tasasytarifas> (Consultado: 03-02-2024).

Vilela, A. (2023) *Nuevo sistema de hidrógeno en contenedores para buques recibe el visto bueno de DNV - H2 Business News*. Disponible en: <https://h2businessnews.com/nuevo-sistema->

de-hidrogeno-en-contenedores-para-buques-recibe-el-visto-bueno-de-dnv/ (Consultado: 28-01-2024).